**BALANÇO DE ^{15}N E PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO EM
PASTAGEM DE CAPIM-ELEFANTE**

GERALDO BUENO MARTHA JÚNIOR

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **MOACYR CORSI**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de Concentração: Ciência Animal
e Pastagens.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Março – 1999

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Martha Júnior, Geraldo Bueno

Balanço de ^{15}N e perdas de amônia por volatilização em pastagem de capim-elefante / Geraldo Bueno Martha Júnior. - - Piracicaba, 1999.
75 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.
Bibliografia.

1. Amônia 2. Balanço de nitrogênio 3. Capim elefante 4. Nitrogênio 15 5.
Pastagem 6. Volatilização I. Título

CDD 633.2

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O Autor"

Aos meus pais,

Beatriz e Geraldo, pelo exemplo, carinho,

dedicação e apoio que sempre demonstraram.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Moacyr Corsi, pela amizade e pela inestimável contribuição à minha formação como profissional e como pessoa.

Ao Prof. Dr. Paulo C.O. Trivelin, pela amizade, valorosa colaboração e estímulo, que possibilitaram que este trabalho fosse executado.

À Márcia C. Terzian, pela paciência e compreensão durante todo o treinamento de mestrado.

À minha irmã Diana e à minha madrinha Therezinha, pelo constante apoio e incentivo.

Ao Eng. Agro. Marcelo C. Alves, pela valiosa colaboração na parte de análise estatística dos resultados.

Ao Prof. Dr. Carlos G.S. Pedreira e ao Prof. Dr. Godofredo C. Vitti pelas preciosas discussões.

Aos amigos Rodrigo F. Maule, Hernani G. Beato Jr., Alexandre L. Cavalcanti Valdez, Plínio M. Frare, Emerson Moura, Leodônio C. Ferreira e a todos os colegas do Curso de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens da ESALQ/USP, pela amizade e pelo constante apoio.

Ao Departamento de Produção Animal da ESALQ/USP por ter possibilitado a execução do trabalho e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os professores do Departamento de Produção Animal da ESALQ/USP, pela contribuição durante a graduação e durante o treinamento de mestrado.

À toda equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), principalmente ao Prof. Dr. João A. Bendassoli, à Srta. Dulcimara de Souza e aos Srs. José A. Bonassi (“Pingin”) e Miguel L. Baldessin, pela importante colaboração nas análises isotópicas.

Aos estagiários João C. Passoni Jr., Ricardo Rovari e André G.B. Santana e ao Eng. Agro. Glauber J.C. Gava, pelo auxílio na parte de campo e de laboratório.

À Sra. Eliana M.G. Sabino, pela gentileza de conferir a normatização das citações de literatura e à toda equipe da Biblioteca Central da ESALQ/USP e do CENA/USP, pelo profissionalismo e boa vontade.

À ESALQ e à República Covil pela marcante contribuição na minha formação como indivíduo e como profissional.

À todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho se tornasse uma realidade.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	viii
RESUMO	x
SUMMARY	xiii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 Área basal	03
2.2 Balanço de nitrogênio	04
2.3 Volatilização de amônia	06
3 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 Caracterização do local, da pastagem, do clima e do solo	11
3.2 Determinação da área basal	12
3.3 Tratamentos dos experimentos de balanço de ^{15}N e de volatilização de amônia	17
3.4 Variáveis mensuradas e delineamento experimental	18
3.5 Esquema de corte da forragem	20
3.6 Balanço de ^{15}N	20
3.7 Volatilização de amônia	22
4 RESULTADOS	25
4.1 Área basal	25
4.2 Balanço de ^{15}N	27
4.2.1 Produção de matéria seca	27
4.2.2 Teor de nitrogênio total	29
4.2.3 Rendimento de nitrogênio	30
4.2.4 Recuperação de ^{15}N	31
4.3 Volatilização de amônia	31

	Página
5 DISCUSSÃO	42
5.1 Área basal	42
5.2 Produção de matéria seca, teor de nitrogênio total e rendimento de nitrogênio	43
5.2.1 Parte aérea	43
5.2.2 Sistema radicular e vegetação	44
5.2.3 Liter	47
5.2.4 Fonte de nitrogênio	49
5.3 Balanço de ^{15}N	52
5.4 Volatilização de amônia	55
5.5 Perdas totais de nitrogênio da pastagem	58
6 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Dados climáticos durante o período experimental do final do verão	13
2 Dados climáticos durante o período experimental do início do outono	14
3 Esquema da estrutura metálica móvel simples utilizada para suspensão da câmara fotográfica	16
4 Imagem da área basal da pastagem de capim-elefante após o processamento no “scanner”	16
5 Esquema de avaliação pelo método da trena	17
6 Croqui do quadrado utilizado na avaliação da área basal	17
7 Comparação entre os métodos da trena, quadrado e fotografia, na estimativa da área basal de pastagem de capim-elefante	26
8 Efeito da adubação com uréia (100 kg N.ha ⁻¹) no final do verão e no início do outono sobre a volatilização acumulada de amônia	39
9 Efeito da adubação com uréia (136 kg N.ha ⁻¹) no final do verão e no início do outono sobre a volatilização acumulada de amônia	40
10 Efeito da adubação com sulfato de amônio (100 kg N.ha ⁻¹) no final do verão e no início do outono sobre a volatilização acumulada de amônia	41

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Recuperação de fertilizante ^{15}N nos diversos componentes de pastagens tropicais ...	06
2 Características químicas e físicas do solo experimental	12
3 Porcentagem de área basal em pastagem de capim-elefante, em função de três métodos de avaliação	25
4 Produção de matéria seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) da parte aérea, sistema radicular, vegetação e liter no final do verão e no início do outono em função da adubação com uréia ou sulfato de amônio	28
5 Efeito da época de adubação (final do verão ou início do outono) sobre a produção de matéria seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) da parte aérea e do liter	29
6 Efeito da interação fonte de nitrogênio x época de adubação sobre a variável produção de matéria seca matéria seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) da vegetação, quando adubada com uréia ou sulfato de amônio no final do verão ou no início do outono	29
7 Nitrogênio total ($\text{g} \cdot \text{kg MS}^{-1}$) na parte aérea, sistema radicular, vegetação, liter, solo na camada de 0 a 0,10 e de 0,10 a 0,25 m no final do verão ou no início do outono em função da adubação com uréia ou sulfato de amônio	30
8 Efeito da época de adubação (final do verão ou início do outono) sobre o teor de nitrogênio total na parte aérea, solo na camada de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,25 m	31
9 Rendimento de nitrogênio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na parte aérea, sistema radicular, vegetação e liter no final do verão e no início do outono em função da adubação com uréia ou sulfato de amônio	32
10 Efeito da época de aplicação do fertilizante nitrogenado (final do verão ou início do outono) sobre o rendimento de nitrogênio na parte aérea e liter	33
11 Efeito da interação fonte de nitrogênio (uréia ou sulfato de amônio) x época de adubação (final do verão ou início do outono) sobre o rendimento de nitrogênio no componente sistema radicular	33

12 Efeito da interação fonte de nitrogênio (uréia ou sulfato de amônio) x época de adubação (final do verão ou início do outono) sobre o rendimento de nitrogênio na vegetação	34
13 Recuperação do fertilizante ^{15}N (% do total de nitrogênio aplicado) nos diversos componentes da pastagem no final do verão ou no início do outono em função da adubação com uréia ou sulfato de amônio	35
14 Efeito da fonte de nitrogênio sobre a recuperação (% do total de nitrogênio aplicado) do fertilizante ^{15}N na parte aérea de capim-elefante em função da adubação com sulfato de amônio ou uréia	35
15 Efeito da época de aplicação com nitrogênio (final do verão ou início do outono) sobre a recuperação (% do total de nitrogênio aplicado) do fertilizante ^{15}N no componente liter da pastagem	36
16 Efeito da fonte de nitrogênio, época de adubação, interação fonte do fertilizante nitrogenado x época de aplicação do adubo e dias após a adubação sobre a volatilização acumulada total de amônia no final do verão ou no início do outono, em função da aplicação de 100 ou 136 kg N-uréia.ha ⁻¹ , ou de 100 kg N-sulfato de amônio.ha ⁻¹	36
17 Efeito da interação fonte de nitrogênio (100 kg N-uréia.ha ⁻¹ , 136 kg N-uréia.ha ⁻¹ e 100 kg N-sulfato de amônio.ha ⁻¹ na área não vegetada) x época de adubação (final do verão ou início do outono) sobre a volatilização acumulada total de amônia	37
18 Perda de amônia por volatilização (kg.ha ⁻¹ de área não vegetada) em diversos dias após a adubação	37
19 Percentual de amônia perdida por volatilização em relação ao total de nitrogênio aplicado em diversos dias após a adubação	38
20 Equações de regressão para os efeitos da fonte de nitrogênio (100 kg N-uréia.ha ⁻¹ , 136 kg N-uréia.ha ⁻¹ e 100 kg N-sulfato de amônio.ha ⁻¹ na área não vegetada) e dos dias após a adubação sobre a volatilização de amônia no final do verão e no início do outono	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%R	recuperação de ^{15}N , como porcentagem do total de adubo aplicado
%R-LIT	recuperação de ^{15}N no liter
%R-PA	recuperação de ^{15}N na parte aérea
%R-S	recuperação de ^{15}N no solo
%R-S1	recuperação de ^{15}N na camada de 0 – 0,10 m de solo
%R-S2	recuperação de ^{15}N na camada de 0,10 – 0,25 m de solo
%R-SP	recuperação de ^{15}N no sistema solo-planta
%R-SR	recuperação de ^{15}N no sistema radicular
%R-VEG	recuperação de ^{15}N na vegetação
AB	área basal
AINA	abundância isotópica de nitrogênio na amostra
AINN	abundância isotópica natural de nitrogênio
ANV	área não vegetada
AV	área vegetada
CaCO_3	carbonato de cálcio
CTC	capacidade de troca catiônica
daa	dias após a adubação
ENMF	enriquecimento de nitrogênio marcado no fertilizante
FV	final do verão
H^+	íon hidrogênio
IO	início do outono
LIT	liter
MOS	matéria orgânica do solo
MS	matéria seca
N	Nitrogênio
NDFMA	nitrogênio derivado do fertilizante marcado na amostra
NH_3	amônia
NH_4^+	íon amônio

NT-LIT	teor de nitrogênio total no liter
NT-PA	teor de nitrogênio total na parte aérea
NT-S1	teor de nitrogênio total na camada de 0 – 0,10 m de solo
NT-S2	teor de nitrogênio total na camada de 0,10 – 0,25 m de solo
NT-SR	teor de nitrogênio total no sistema radicular
NT-VEG	teor de nitrogênio total na vegetação
PA	parte aérea
PMS	produção de matéria seca
PMS-LIT	produção de matéria seca do liter
PMS-PA	produção de matéria seca da parte aérea
PMS-SR	produção de matéria seca do sistema radicular
PMS-VEG	produção de matéria seca da vegetação
PT	poder tampão
QNA	quantidade de nitrogênio aplicado
RN	rendimento de nitrogênio
RN-LIT	rendimento de nitrogênio no liter
RN-PA	rendimento de nitrogênio na parte aérea
RN-SR	rendimento de nitrogênio no sistema radicular
RN-VEG	recuperação de nitrogênio na vegetação
S	solo
S1	camada de 0 – 0,10 m de solo
S2	camada de 0,10 – 0,25 m de solo
SA	sulfato de amônio
SP	solo-planta
SR	sistema radicular
U	uréia
VacT	volatilização acumulada total de amônia

BALANÇO DE ^{15}N E PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO EM PASTAGEM DE CAPIM-ELEFANTE

Autor: Geraldo Bueno Martha Júnior

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Corsi

Resumo

Para acessar o comportamento do nitrogênio (N) proveniente da uréia (U) e do sulfato de amônio (SA), quando aplicados a lanço e em superfície sobre uma pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) cv. Napier, foram estabelecidos dois experimentos, um no final do verão (FV – 27/02 à 23/03/1998) e outro no início do outono (IO – 05/05 à 01/06/1998). Nessas duas épocas, avaliou-se o balanço de N na área vegetada (AV) da pastagem utilizando-se fertilizante ^{15}N e microparcels e as perdas de amônia (NH_3) por volatilização na área não vegetada (ANV) do pasto por intermédio de sistemas coletores semi-abertos estáticos. A proporção de AV (ou basal) do pasto foi determinada através de três métodos, o fotográfico (F), o da trena (T) e o do quadrado (Q).

No estudo de volatilização de NH_3 foram testadas duas doses de U ($\text{U1} =$ equivalente a $100 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{aplicação}^{-1}$ e $\text{U2} =$ equivalente a $136 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{aplicação}^{-1}$) e uma de SA ($\text{SAM} =$ equivalente a $100 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{aplicação}^{-1}$), mas para o estudo de balanço de ^{15}N , tanto a U como o SA foram aplicados na pastagem numa única dose (equivalente a $100 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{aplicação}^{-1}$). A extrapolação dos números obtidos nas microparcels permitiu que a produção de matéria seca (PMS) e o rendimento de N (RN), que foi o resultado do produto entre PMS e teor de N total (NT) num dado componente, fossem expressos em kg.ha^{-1} . Em todos os casos, adotou-se um delineamento de blocos completos casualizados com seis repetições e seguiu-se os procedimentos da análise conjunta dos experimentos. Para as avaliações de volatilização de NH_3 utilizou-se o número de dias após a adubação como covariável.

As comparações entre F (42 % da superfície da pastagem) e T (48 % da superfície da pastagem) foram diferentes ($P < 0,05$), mas as comparações entre T e Q (44 % da superfície da pastagem) e F e Q foram semelhantes ($P > 0,05$). Assim, os experimentos de balanço de

^{15}N e de volatilização de NH_3 tiveram como base a AV média dos métodos T, Q e F, isto é, 44 % da superfície da pastagem (ou 56 % de ANV).

As PMS da parte aérea (PA), sistema radicular (SR), vegetação (VEG = PA + SR) e liter (LIT) não foram afetadas pela fonte de N ($P > 0,05$), entretanto, verificou-se que a época de aplicação do fertilizante nitrogenado afetou significativamente a PMS da PA ($P < 0,05$) e a PMS do LIT ($P < 0,001$). Para a PA, obteve-se maior PMS no FV, ao passo que, para o LIT, notou-se maior PMS no IO. A PMS da VEG foi significativamente afetada ($P < 0,05$) pela interação fonte de N x época de adubação e, esse fato, foi explicado pela redução ($P < 0,05$) na PMS da VEG nas parcelas adubadas com U no IO, quando comparadas às parcelas que receberam U no FV.

O teor de NT na PA foi superior ($P < 0,05$) no IO, em comparação com o FV, sendo o oposto observado para os valores de NT nos componentes solo de 0 a 0,10 (S1) e de 0,10 a 0,25 m (S2), que reduziram ($P < 0,05$) do primeiro para o segundo período. Quanto ao RN, constatou-se efeito de época para as variáveis RN na PA ($P < 0,01$) e RN no LIT ($P < 0,001$) e efeito da interação época de aplicação do N x fonte do adubo para RN no SR ($P < 0,05$) e RN na VEG ($P < 0,05$). No caso da PA, os valores de RN foram maiores no FV, enquanto que o RN no LIT foi superior no IO. As interações fonte de N x época de adubação observadas para o RN no SR e RN na VEG foram consequência do menor RN nas adubações com U no IO, em relação às adubações com U praticadas no FV.

Quanto à recuperação do fertilizante ^{15}N (% do total aplicado) nos componentes formadores do sistema solo-planta (SP = PA + SR + LIT + S1 + S2), verificou-se efeito significativo apenas para fonte de N no componente PA, que revelou maiores recuperações do N proveniente do SA (24,3 %), quando comparado ao N proveniente da U (19,7 %). Constatou-se, também, uma tendência ($P = 0,0520$) do SA ser melhor recuperado no sistema SP (74,9 % do total aplicado na média das duas épocas), do que a U (53,7 % do total aplicado na média das duas épocas).

As quantidades totais de NH_3 volatilizadas no FV (num período de 16,7 dias após a adubação) foram significativamente ($P < 0,001$) superiores aos valores observados no IO (num período de 20,8 dias após a adubação) para todos os tratamentos. No FV, a volatilização total desse gás nos tratamentos U1 (45,15 kg.ha⁻¹ ANV) e U2 (44,55 kg.ha⁻¹ ANV) foram semelhantes ($P > 0,05$) e maiores ($P < 0,001$) do que os resultados observados

em SAM (11,96 kg.ha⁻¹ ANV). Por outro lado, no IO não houveram diferenças ($P > 0,05$) na quantidade total de NH₃ volatilizada entre os tratamentos U1 (8,52 kg.ha⁻¹ ANV) e SAM (9,32 kg.ha⁻¹ ANV) e U2 (9,83 kg.ha⁻¹ ANV) e SAM, porém, as perdas de NH₃ em U1 foram inferiores ($P < 0,01$) às registradas em U2.

Com base nesses resultados, pode-se concluir que o SA foi mais eficiente do que a U na média das épocas, porém, esse efeito não foi suficiente para determinar uma maior PMS, teor de NT ou RN nas parcelas que receberam o SA. Além disso, embora a eficiência (% de perda em relação ao total de N aplicado) do fertilizante nitrogenado (acessada pelo balanço de ¹⁵N e pela volatilização de NH₃) no FV tenha sido inferior ao IO, a aplicação do adubo nitrogenado deve ser efetuada no FV e não no IO, tendo em vista os maiores valores de PMS e RN observados no primeiro período.

BALANCE OF ^{15}N AND AMMONIA VOLATILIZATION LOSSES IN AN ELEPHANTGRASS PASTURE

Author: Geraldo Bueno Martha Júnior

Advisor: Professor Moacyr Corsi, PhD.

Summary

Two experiments were designed to assess the balance of ^{15}N and ammonia (NH_3) volatilization losses in an elephantgrass pasture fertilized with either urea (U) or ammonium sulfate (AS). Experiment 1 was carried out in late summer (LS – 02/27 to 03/23/1998) and Experiment 2 in early autumn (EA – 05/05 to 06/01/1998). The fate of ^{15}N -U and ^{15}N -AS were determined in areas covered with vegetation (ACV) using microplots and NH_3 volatilization losses were measured in areas uncovered with vegetation (AUV) but covered with litter, through a semi-open static collector device. In this case non-tagged N fertilizers were used. The proportion of ACV (or basal cover) of the pasture was determined by three methods, the photographic (F), the line transect (T) and the quadrat (Q) methods.

In NH_3 volatilization studies two rates of urea ($\text{U1} = 100 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{application}^{-1}$ and $\text{U2} = 136 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{application}^{-1}$) and one rate of AS ($\text{SAM} = 100 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{application}^{-1}$) were used, but in the tracer experiments only one N fertilizer rate was adopted ($100 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{application}^{-1}$) for both U and AS. Treatments were allocated to plots following a complete randomized block design with six replications, and a pooled experiment analysis design was used to perform the overall statistical analysis of variance. Responses related to NH_3 volatilization losses had the number of days after N fertilizer application used as a covariate.

The comparisons between F (ACV = 42 % of the pasture) and T (ACV = 48 % of the pasture) methods were statistically different ($P < 0,05$), but the comparisons between Q (ACV = 44 % of the pasture) and F and Q and T methods were similar ($P > 0,05$). In This context, the mean value of the three methods (ACV = 44 % of the pasture or AUV = 56 % of the pasture) was used as the basis for the ^{15}N and the NH_3 volatilization experiments calculations.

The dry matter yields (DMY) of shoot (SH), root system (RS), litter (LIT) and vegetation (VEG = SH + RS) were not affected ($P > 0,05$) by the N fertilizer form, but the SH and LIT variables were significantly affected by the season of N fertilizer application ($P < 0,05$ and $P < 0,0001$, respectively). In the former the summer DMY were higher than the autumn ones, but the opposite occurred in the LIT variable. The VEG DMY were affected ($P < 0,05$) by the interaction nitrogen source x season of N fertilization, the effect being attributed to the lower ($P < 0,05$) DMY observed in the U treatment in EA compared to the observed values in the U treatment in LS. The same reason explained the significant ($P < 0,05$) interaction N source x time of N application observed in N yields (NY = DMY multiplied by the total N (TN) content of the component] in the RS and VEG components.

The NY of the SH and LIT components were affected by the season of the N fertilizer application. In these cases were observed lower values in LS and greater NY in EA for the SH and LIT variables, respectively. The TN content of the SH variable was also affected by the season of fertilization, greater values being registered in EA. The season of N application affected ($P < 0,05$) the TN contents of soil in 0 to 0,10 (S1) and 0,10 to 0,25 m (S2) depths. In both situations there were a decrease in TN contents values from LS to EA.

In relation to the ^{15}N recovery (% recovered in relation to the total amount applied) in the soil-plant (SP = SH + RS + LIT + S1 + S2) system the only significant effect observed was for N source in the SH component. AS treatment showed higher efficiency than U treatment (24,3 vs. 19,7, respectively). A non-significant effect for the interaction between N source x season of fertilizer application was observed for the ^{15}N recovery in the SP system. In this case, the N derived from the AS (74,9 %) tended ($P = 0,0520$) to be better recovered than the N derived from the U (53,7%).

The NH_3 volatilization losses were higher ($P < 0,001$) in LS than in EA for all treatments. In the LS the comparisons between U1 and U2 were similar ($P > 0,05$) and both were significantly higher ($P < 0,001$) than the SAM treatment. In contrast, in EA the comparisons between U1 and SAM and U2 and SAM were similar ($P > 0,05$), but the comparisons between U1 and U2 were statistically different ($P < 0,01$). The total amounts of NH_3 lost in LS and EA (kg.AUV^{-1}) were 45,15 and 8,52; 44,55 and 9,83 and 11,96 and 9,32 for U1; U2 and SAM treatments, respectively.

These results indicated that the losses of the AS fertilizer (measured by the tracer and NH_3 volatilization experiments) when applied onto elephantgrass pastures in LS or EA were lower than the losses observed for U applications but this effect did not produced higher DMY, NY or TN contents in the plots fertilized with AS. Besides that there was an obvious higher efficiency (lower N losses in relation to the total N applied) for the N applied in EA in relation to the N applied in LS, but as DMY were higher ($P < 0,05$) in LS seems better to apply the N fertilizer earlier in the season.

1 INTRODUÇÃO

A pecuária bovina brasileira, a exemplo das outras atividades agrícolas, tem passado por profundas modificações nos últimos anos, as quais, invariavelmente, sinalizam a necessidade de melhoria da eficiência técnico-econômica da fazenda, no sentido de garantir a competitividade e lucratividade do empreendimento pecuário frente as outras alternativas de uso da terra.

Assim, o aumento da produtividade dos fatores de produção mais escassos (terra, trabalho e capital) e, portanto, mais caros, é necessário (Gomes, 1996), pois esse fato está associado com a permanência dos produtores, principalmente os de pequeno porte, no cenário econômico (Corsi & Martha Júnior, 1998). Gomide (1989) ainda salientou que a viabilidade técnico-econômica dos sistemas de produção a pasto é altamente dependente do incremento na produção de matéria seca (**MS**), que varia com a espécie forrageira e seu manejo, com o clima, solo, potencial e categoria animal e, principalmente, com o custo do fertilizante e com o valor do produto animal.

Nesse contexto, a utilização de capins de elevada produtividade e de alta capacidade de resposta aos fertilizantes, parece ser a solução mais viável para sistemas a pasto, pois a elevada produção de MS por unidade de área asseguraria alta produtividade animal e, portanto, a obtenção de leite e carne a custos mais reduzidos, enquanto a elevada eficiência de uso dos adubos garantiria a alta produtividade forrageira a custos mais baixos.

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), que chega a apresentar produtividades de até 80 a 90 Mg de MS.ha⁻¹.ano⁻¹ (Faria et al., 1996; Jacques, 1997) e é extremamente responsivo às adubações (Vicente-Chandler et al., 1974; Corsi & Nussio, 1993) surge, então, como uma ótima opção, conforme orienta a revisão de Faria et al. (1996). Esses autores apontaram que sistemas de produção de leite baseados em pastos de capim-elefante permitiram a recuperação do capital investido na atividade num período de 8 a 12

meses, sinalizando uma tecnologia de excelente lucratividade. Como vantagem adicional tem-se ainda a grande flexibilidade de uso dessa gramínea, que se presta tanto para o pastejo direto, como para capineira ou confecção de silagens.

Desta forma, tem-se estabelecida a necessidade de altas produções de MS por unidade de área em sistemas de pastejo que, no entanto, só podem ser obtidas quando a reposição dos elementos minerais extraídos do solo pela pastagem e/ou perdidos do ecossistema por outras vias é feita. Dentre os elementos minerais extraídos do solo pelas pastagens, o nitrogênio (**N**) assume posição de destaque e, segundo Monteiro (1997), desde que outros fatores de produção (edáficos, climáticos, etc.) não sejam limitantes, o nível de produtividade do capim-elefante é controlado pelo fornecimento deste nutriente.

Uma vez que as quantidades disponíveis de N a partir da atmosfera (deposição seca e/ou úmida, fixação não simbiótica e simbiótica do N da atmosfera por microorganismos do solo) e da mineralização da matéria orgânica do solo (**MOS**) são raramente adequadas para otimizar a produção e equilibrar as perdas de N das pastagens, a reposição deste nutriente deve ser feita através de adubações. Em outras palavras, a produtividade agrícola é dependente da utilização de fertilizantes nitrogenados e, portanto, o conhecimento e manejo dos fatores que interferem na eficiência desses adubos quando aplicados no pasto é indispensável, não só para manter e/ou aumentar a produtividade das pastagens mas, também, para reduzir os custos de fertilizantes e energia na agricultura (Vitti et al., 1984) e minimizar o impacto desses insumos sobre o ambiente (Jarvis, 1994; Jarvis et al., 1995).

Dada a importância dessas informações, os objetivos desse trabalho foram o de avaliar, no campo, o balanço de ^{15}N e as perdas de amônia por volatilização, respectivamente na área com e sem vegetação, em uma pastagem de capim-elefante cv. Napier adubada com uréia (**U**) ou sulfato de amônio (**SA**) em duas épocas do ano. Para que essas avaliações fossem possíveis, um outro estudo foi conduzido na mesma área experimental para determinar as proporções de área vegetada e não vegetada da pastagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Área basal

O capim-elefante, que ocupa uma área de aproximadamente 119.640 ha do território paulista (SÃO PAULO, 1997), é uma espécie forrageira originária da África Tropical entre as latitudes 10° norte e 20° sul e, segundo relatos, foi introduzido no Brasil na década de 20, através de mudas provenientes de Cuba (Faria, 1993). Essa planta é perene, cresce bem desde o nível do mar até as altitudes de 2.200 m e prefere regiões com precipitação pluviométrica anual entre 800 a 4.000 mm (Carvalho, 1985).

O capim-elefante possui hábito de crescimento cespitoso e ereto, que favorece a melhor distribuição de luz no interior do dossel e, conseqüentemente, possibilita elevados rendimentos forrageiros em situações edafo-climáticas adequadas (Corsi, 1993). Essa gramínea não vegeta em toda a área do terreno (Passos, 1994), fazendo com que o solo vegetado por essas plantas apresente-se em parte tomado por touceiras e, em parte, coberto pelo resíduo vegetal remanescente de desfolhas anteriores, também referido neste texto como liter (**LIT**). Isso acontece porque a área basal (**AB**) das touceiras tende a aumentar até o momento em que as condições de competição intra-específicas pelos fatores de crescimento se estabeleçam (Corsi, 1993).

A quantificação da AB é uma alternativa para melhorar o entendimento das interações presentes no ecossistema de pastagens e aprimorar o manejo do solo e da planta, uma vez que a porcentagem de solo descoberto na pastagem pode indicar os efeitos de superpastejo e, conseqüentemente, da degradação do pasto, pode fornecer um importante guia para a determinação do potencial de erosão do solo, da interceptação de chuvas, da invasão de plantas daninhas e, também, pode propiciar um maior domínio da disposição espacial das plantas, o que auxiliaria na quantificação da massa de forragem (Tothill, 1987;

Cóser et al., 1998). Em adição a esses fatos, o conhecimento da porcentagem de área vegetada e não vegetada também é útil em estudos avaliando o balanço de nitrogênio e a volatilização de amônia em pastagens de gramíneas cespitosas, quando se utiliza microparcelsas com fertilizante ^{15}N e sistemas coletores, respectivamente.

2.2 Balanço de nitrogênio

Pastos manejados para proporcionarem elevadas produções de MS por unidade de área precisam ser encarados com culturas muito exigentes (Faria et al., 1996), onde a produtividade vegetal é altamente dependente da disponibilidade de nutrientes no solo (Corsi & Nussio, 1993). Nesse contexto, o N assume posição de destaque, sendo considerado o fator mais limitante à produção das pastagens de gramíneas após a água (Jarvis et al., 1995).

Corsi & Martha Júnior (1997), em trabalho recente, salientaram a importância de se praticar a reposição de N, a fim de se evitar o colapso de sistemas de produção a pasto e, no caso de capim-elefante, estima-se que um mínimo de $50 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ são necessários para se evitar a degradação do stand (Monteiro, 1997).

Quando o fertilizante nitrogenado é aplicado no pasto, parte do elemento é recuperado na parte aérea (**PA**) e sistema radicular (**SR**), parte permanece no solo (**S**), enquanto uma outra porção pode ficar imobilizada no LIT ou pode se perder do sistema solo-planta (**SP**) (Whitehead & Dawson, 1984; Corsi & Martha Júnior, 1997; Russelle, 1997). Como resultado, raramente se consegue uma eficiência de 100 % do adubo aplicado nas culturas agrícolas, independentemente da fonte nitrogenada utilizada (Haynes & Sherlock, 1986; Trivelin et al., 1994; Whitehead, 1995).

A quantificação da recuperação do adubo nitrogenado aplicado no pasto pode ser feita de maneira indireta (aparente) ou direta (real). A recuperação aparente é obtida quando uma parcela adubada com N é comparada com uma outra que não recebeu o adubo (Whitehead & Dawson, 1984). Nessa situação, valores de 40 a 60 % de recuperação de N na PA são comumente encontrados em forrageiras tropicais (Vicente-Chandler et al., 1974), embora a faixa de variação seja de 20 a 80 % (Corsi & Nussio, 1993).

A recuperação real só pode ser obtida através de traçadores, que permitem a diferenciação do N proveniente do fertilizante daquele advindo do solo e/ou da atmosfera

(Jansson & Persson, 1982; Trivelin et al., 1994; Whitehead, 1995). O ^{15}N , isótopo estável do N, é o traçador geralmente utilizado (Whitehead & Dawson, 1984). O uso de ^{15}N não oferece riscos nem ao operador e nem ao ambiente (Barrie, 1991) e possibilita que os caminhos do N derivado do adubo no sistema SP sejam determinados com acuracidade e precisão (Lara Cabezas & Trivelin, 1990; Hauck, 1992; Barrie, 1991).

Os estudos realizados com ^{15}N no nosso país são escassos e, esse fato, é consequência do elevado custo do adubo marcado e das análises isotópicas (Lara Cabezas & Trivelin, 1990). Provavelmente, as mesmas causas são responsáveis pelo pouco número de experimentos conduzidos com essa técnica no ambiente tropical. Dos poucos estudos realizados com fertilizante ^{15}N e pastagens tropicais (Catchpoole, 1975; Kissel & Smith, 1978; Catchpoole et al., 1983; Impithuksa et al., 1984; Impithuksa & Blue, 1985), verificou-se que a recuperação do N no sistema SP situava-se, geralmente, na faixa de 55 a 80 % e que cerca de 70 % desse montante recuperado aparecia no componente vegetação (VEG, considerado nesse texto como sendo o somatório de PA e SR) da pastagem (Tabela 1).

Entretanto, a real eficiência do fertilizante nitrogenado aplicado em pastagens de capim-elefante, gramínea de maior responsividade ao N (Vicente-Chandler et al., 1974), ainda não foi determinada, uma vez que os experimentos de adubação nitrogenada com esse capim não utilizaram metodologias que permitissem definir o caminho do adubo nitrogenado no sistema SP.

Dessa forma, seria interessante se conhecer o destino dos diferentes adubos nitrogenados em pastagens de capim-elefante, se possível em diferentes épocas do ano, uma vez que a responsividade das pastagens a esse nutriente varia em função das condições de desenvolvimento da planta (Vicente-Chandler et al., 1974; Corsi & Nussio, 1993; Lemaire, 1997). Essa informação teria potencial para minimizar as perdas de N da pastagem e aprimorar as recomendações de adubações nitrogenadas objetivando a manutenção e/ou reposição da fertilidade do solo, uma vez que existe a possibilidade da entrada de nutrientes ser controlada em sistemas adubados (Pearson & Ison, 1997).

Estimativas mostraram que a U e o SA representam cerca de 70 % do consumo total de fertilizantes nitrogenados no Brasil (FAO, 1997), o que sinaliza a necessidade de experimentação com esses dois adubos. Além disso, quando essas fontes são aplicadas de maneira superficial e a lançam nos pastos, tem-se verificado que parte do N proveniente do

fertilizante se perde do sistema SP através do processo de volatilização de amônia (NH_3) (Whitehead & Raistrick, 1990; Corsi, 1994; Whitehead, 1995), indicando que a quantificação dessa forma de perda seria fundamental, no sentido de melhorar as recomendações de adubações nitrogenadas em pastagens.

Tabela 1. Recuperação de fertilizante ^{15}N (% do total aplicado) nos diversos componentes de pastagens tropicais.

Espécie	PA*	SR	VEG	LIT	S	SP	PA/VEG	PA/SP	VEG/SP	Fonte
94 kg N-uréia. ha ⁻¹ em cada estação										
Setária (P)**	47,9	ND	ND	7,1	24,6	79,6	ND	60,2	ND	Catchpoole et al. (1983)
Setária (V)	38,3	ND	ND	8,5	23,8	70,6	ND	54,3	ND	Catchpoole et al. (1983)
Setária (O)	29,1	ND	ND	8,5	17,5	55,1	ND	52,8	ND	Catchpoole et al. (1983)
Setária (I)	29,8	ND	ND	3,3	43,9	77,0	ND	38,7	ND	Catchpoole et al. (1983)
100 ou 200 kg N-nitrato de amônio. ha ⁻¹ em 3 aplicações durante a EP										
Capim estrela (EP)	32,0	12,7	44,7	ND	17,3	60,7	71,6	52,7	73,6	Impithuksa et al. (1984)
100 ou 200 kg N-nitrato de amônio. ha ⁻¹ em 3 aplicações durante a EP										
Capim estrela (EP)	35,0	13,0	48,0	ND	22,0	70,0	72,9	50,0	63,9	Impithuksa & Blue (1985)
Capim transvala (EP)	40,0	9,0	49,0	ND	17,0	66,0	81,6	60,6	74,2	Impithuksa & Blue (1985)
Grama batatais (EP)	35,0	20,0	55,0	ND	20,0	75,0	63,6	46,7	73,3	Impithuksa & Blue (1985)

* PA, parte aérea; SR, sistema radicular; VEG, vegetação, S, solo; SP, sistema solo-planta.

** P, primavera; V, verão; O, outono; I, inverno; EP, estação de pastejo; ND, não determinado.

2.3 Volatilização de amônia

Para que o processo de volatilização de amônia ocorra é necessário que haja um suprimento de NH_3 próximo a superfície do solo, o que possibilitaria a transferência desse gás do solo para a atmosfera (Trivelin et al., 1994). Em condições de campo, isso não parece

ser problema, haja vista que o íon amônio (NH_4^+), precursor da NH_3 , é constantemente formado nos solos a partir da decomposição do material orgânico nativo do solo, de restos vegetais, de excreções animais e de fertilizantes amoniacais e amídicos (Haynes & Sherlock, 1986; Trivelin et al., 1994; Whitehead, 1995).

As perdas de NH_3 por volatilização em ecossistemas agrícolas são governadas por fatores de manejo, de solo e de clima. Os fatores de manejo mais importantes são a localização do adubo no solo, as doses do fertilizante utilizadas e a presença ou não de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Quando o adubo é localizado em profundidades abaixo de 4 – 5 cm no perfil do solo espera-se perdas reduzidas em comparação com aplicações superficiais e a lanço, onde as perdas são geralmente elevadas (Ernst & Massey, 1960; Vitti et al., 1984; Mello, 1987). Entretanto, essa alternativa é de aplicação limitada em pastagens, uma vez que as operações de incorporação do adubo tendem a prejudicar o sistema radicular dessas plantas, o que pode repercutir negativamente sobre a rebrota futura do pasto (Corsi & Nussio, 1993).

Em relação a dose do adubo aplicado, tem-se verificado que, na grande maioria das vezes, maiores doses do adubo resultam em perdas de amônia por volatilização mais elevadas (Volk, 1959; Black et al., 1985; Rodrigues & Kiehl, 1986; Trivelin et al., 1994). Porém, uma vez que o padrão de perda pode ser linear ou exponencial, as perdas relativas do fertilizante (porcentagem perdida em relação ao total de N aplicado) podem diminuir, manterem-se constantes, ou aumentarem com os incrementos na dose do fertilizante (Hargrove et al., 1977; Hargrove & Kissel, 1979; Stumpe et al., 1983; Hargrove, 1988).

Em relação ao efeito da cobertura vegetal do solo sobre a volatilização de NH_3 , existem resultados divergentes, pois em algumas situações as perdas aumentaram (Hargrove et al., 1987), enquanto que, em outros casos, elas não diferiram em relação ao solo descoberto, ou foram menores (Anjos & Tedesco, 1976). Esses resultados parecem ser consequência das características do liter sobre a redução no ritmo de evaporação de água e sobre a elevada atividade da enzima urease, que contribuiriam para reduzir e aumentar as perdas de NH_3 por volatilização, respectivamente (Torello & Wehner, 1983; Corsi, 1994; Sá, 1996). Além disso, a baixa capacidade de retenção de NH_3 nos resíduos vegetais seria mais um fator contribuindo para o incremento nas perdas desse gás (Freney et al., 1991).

Os fatores de solo mais importantes influenciando as perdas de NH_3 por volatilização são o pH, a capacidade de troca catiônica (**CTC**), o poder tampão (**PT**), os teores de carbonato de cálcio (**CaCO_3**) e de MOS (Avnimelech & Laher, 1977; O'Toole et al., 1985; Fenn & Hossner, 1985; Haynes & Sherlock, 1986; Corsi, 1994). O pH é importante no processo de volatilização de amônia por alterar o equilíbrio de NH_4^+ e NH_3 na solução do solo, de sorte que incrementos no pH deslocam a reação 1 para direita, o que aumenta a concentração relativa de NH_3 e, conseqüentemente, o seu potencial de volatilização (Trivelin et al., 1994).

As reações envolvidas na volatilização de NH_3 a partir de sais amoniacais são químicas e dependem principalmente das propriedades inorgânicas do solo, como a alcalinidade, enquanto que, no caso da U, a presença da enzima urease e de água são necessárias para que a perda de NH_3 aconteça (Fenn & Hossner, 1985; Haynes & Sherlock, 1986). Além disso, tem-se observado que o pH na região de dissolução do grânulo de U pode elevar-se em até 3 unidades, o que estabelece condições propícias para volatilização desse gás, inclusive em solos ácidos (Black et al., 1985; Kiehl, 1989; Whitehead & Raistrick, 1990; Whitehead, 1995).

Os estudos mostraram que para uma dada dose de N amoniacal ou N – uréia aplicada nas pastagens, a concentração de NH_4^+ na solução do solo e o pH são influenciados pelo PT e pela CTC do solo (O'Toole et al., 1985; Whitehead, 1995). A dissociação de íons NH_4^+ para liberação de NH_3 produz, também, íons hidrogênio (**H^+**) e, desta forma, a menos que o solo seja bem tamponado o meio se tornará progressivamente ácido e a taxa de perda de NH_3 por volatilização diminuirá (Freney et al., 1983; Fenn & Hossner, 1985; Haynes & Sherlock, 1986).

No caso da CTC, verificou-se que quanto maior o seu valor menor será a concentração de NH_4^+ na solução do solo e, portanto, menores perdas de NH_3 por volatilização deverão ocorrer (Haynes & Sherlock, 1986). Estudos conduzidos por Volk (1959) e Gasser (1964) indicaram que quando a CTC era inferior a 80 mmolc.dm^{-3} , os níveis de perdas por volatilização de NH_3 eram elevados, porém, quando os valores de CTC eram

maiores do que $110 \text{ mmolc.dm}^{-3}$, a volatilização passava a ser desprezível. Em contrapartida, O'Toole et al. (1985) encontraram que o valor de CTC crítico, a partir do qual as perdas de NH_3 pelo processo de volatilização seriam praticamente nulas, era de $268 \text{ mmolc.dm}^{-3}$.

A concentração de CaCO_3 no solo, por sua vez, tem um forte efeito sobre as perdas de NH_3 por volatilização e, geralmente, quando sua concentração na solução do solo está na faixa de 6 a 16 % a eficiência dos fertilizantes amoniacais e amídicos é bastante prejudicada (Corsi, 1994). Por outro lado, os efeitos da MOS sobre a volatilização de NH_3 são antagônicos, pois ao mesmo tempo que elevados teores contribuem para maior CTC e, conseqüentemente, para maior retenção de íons NH_4^+ no complexo de troca, a elevação no teor de MOS está associada com a maior atividade da urease, gerando um maior potencial para a amônia se perder por volatilização (Torello & Wehner, 1983; Reynolds & Wolf, 1987; Corsi, 1994).

Diversos fatores ambientais, como a umidade relativa do ar e a velocidade do vento, podem interferir no processo de volatilização de amônia (Freney et al., 1983; Bowmeester et al., 1985; Reynolds & Wolf, 1987), entretanto, na maioria dos casos, a temperatura e a precipitação pluviométrica (quantidade e momento em que ocorrem após a aplicação do fertilizante) são consideradas as principais variáveis ambientais atuando sobre as perdas de NH_3 (Black et al., 1987; Lighthner et al., 1990; Whitehead, 1995). Sob condições controladas, mostrou-se que incrementos na temperatura na faixa de 0 a 50°C aumentavam as perdas de NH_3 por volatilização (Vitti et al., 1984; Hargrove, 1988; Trivelin et al., 1994), sendo esse efeito geralmente atribuído (Ernst & Massey, 1960; Harper et al., 1983a; Freney et al., 1983; Hargrove, 1988; Trivelin et al., 1994; Whitehead, 1995): a) ao aumento da temperatura, que eleva a proporção de NH_3 na solução do solo em relação ao íon NH_4^+ , deslocando a reação (1) para direita e potencializando, assim, as perdas de NH_3 ; b) ao incremento na temperatura, que diminui a solubilidade da amônia e aumenta a sua difusão, o que favorece a volatilização de NH_3 ; c) ao aumento na atividade da urease com a elevação da temperatura, potencializando as perdas de NH_3 por volatilização; e d) às maiores temperaturas, que incrementam as taxas de evaporação, o que também favorecem as perdas gasosas.

As chuvas são extremamente importantes por proporcionarem o movimento do adubo para camadas mais profundas do solo, onde o processo de volatilização de NH_3 é sensivelmente reduzido (Ernst & Massey, 1960; Harper et al., 1983b; Vitti et al., 1984;

Freney et al., 1991). Por outro lado, quando apenas chuvas leves ocorrem, o processo de hidrólise e dissolução do adubo pode se estabelecer, porém, como a quantidade de água presente não é suficiente para promover a descida do adubo no perfil do solo, as perdas de NH_3 podem ser potencializadas (Freney et al., 1991; Denmead et al., 1993). Desta forma, enquanto precipitações pluviométricas superiores a 10 – 20 mm nos primeiros dias após a adubação (**daa**) são consideradas efetivas na redução das perdas de NH_3 por volatilização (Bowmeester et al., 1985; Black et al., 1987; Denmead et al., 1990), valores de 5 mm podem tanto reduzir (Harper et al., 1983a), como aumentar essas perdas (Denmead et al., 1993).

Com base no exposto, verifica-se que uma série de processos interagentes irão determinar a quantidade de NH_3 que volatilizará. Porém, para solos não alcalinos, as perdas de NH_3 decorrentes da aplicação superficial e a lanço de SA são geralmente baixas, inferiores a 10 % do N aplicado (Whitehead & Raistrick, 1990; Whitehead, 1995). Em contrapartida, em condições de alcalinidade, os níveis de perda podem atingir patamares de até 40 % do total de N aplicado, conforme orienta o trabalho de Urquiaga et al. (1989).

Em relação à U, tem-se verificado que as perdas de NH_3 por volatilização em decorrência da aplicação superficial e a lanço situam-se, frequentemente, na faixa de 15 a 20 % do N aplicado, podendo, em condições extremas (condições de alcalinidade, baixa CTC, etc.) assinalar valores de até 90 % (Harper et al., 1983b; Urquiaga et al., 1989; Whitehead & Raistrick, 1990; Jarvis et al., 1995; Whitehead, 1995).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local, da pastagem, do clima e do solo

O experimento foi conduzido em uma pastagem de capim-elefante cv. Napier (gleba B), pertencente ao Departamento de Produção Animal, setor de Ruminantes, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), no município de Piracicaba/SP, com localização geográfica 22° 42’ S, 47° 38’ W e altitude de 538 m acima do nível do mar (DFM, 1998). Desde o seu estabelecimento, em 1967 (Faria et al., 1996), a pastagem nunca foi reformada. Nos primeiros anos após a sua implantação a pastagem era manejada como capineira, porém, no início da década de 70, passou a ser utilizada, prioritariamente, sob pastejo. Eventualmente, o pasto é desfolhado mecanicamente, tanto para atender exigências de experimentos, como para auxiliar no manejo da pastagem.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) (Imhoff, 1998) e o solo foi classificado (Torrado e Spavorek, 1993¹, citados por Imhoff, 1998) como Terra Roxa Estruturada Eutrófica (TREe), com horizonte A moderado, textura argilosa à muito argilosa (Kandiufalfic Eutradox). Os dados pertinentes ao solo em que a pastagem está estabelecida e ao clima, durante o período experimental, são apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Nas Figuras 1 e 2, as setas mais finas indicam o momento do corte da forragem e as setas mais grossas sinalizam o momento de aplicação do adubo nitrogenado.

¹ VIDAL TORRADO, P.; SPAROVEK, G. (Departamento de Solos, ESALQ, USP, Piracicaba). Mapa pedológico detalhado 1:10000 do Campus “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba (SP), 1993.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo experimental.

Características químicas									
pH	MO	P	K	Ca	Mg	H + Al	SB	T	V
CaCl ₂	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³				mmolc.dm ⁻³			%
5,1	41	28	4,8	53	23,5	42.5	81,3	123,8	66
Características físicas									
Areia			Silte				Argila		
%									
27,2			18,2				54,6		

3.2 Determinação da área basal

Uma vez que não existe nenhum método padrão para quantificação da AB, muitas vezes as determinações são feitas por métodos adaptados, ou até mesmo, por métodos originais em função das condições encontradas no campo. Desta forma, o presente trabalho determinou a eficiência de três métodos, o fotográfico (**F**), o da trena (**T**) e o do quadrado (**Q**), nas avaliações da AB em pastagem de capim-elefante. O estudo foi praticado na primeira semana após a segunda época de desfolha (05/05/1998).

A quantificação da área obtida pela fotografia pode ser feita de diversas maneiras, freqüentemente, através de diapositivos (“slides”) de 35 mm (Laflen et al., 1981) ou de “scanners” (Van Lier et al., 1993), como nesse caso. O processamento de imagens via “slides” é feito com auxílio de grades (quadrículas), sendo a cobertura vegetal determinada pelos pontos de interseção grade - área foliar e/ou basal na projeção da imagem. No caso dos “scanners”, a leitura da imagem binária original, após transformação para matriz de códigos binários, permite a diferenciação entre a área vegetada (cor preta) e não vegetada (cor branca) (Van Lier et al., 1993).

Para o método F foram feitas dez fotografias coloridas de uma altura de 7 m, num ângulo perpendicular à superfície do terreno, conforme proposto por Van Lier et al. (1993). A câmara fotográfica foi suspensa em uma estrutura metálica móvel e com o auxílio de um acionador automático (Figura 3), as fotos foram tiradas. Com o intuito de melhorar o

Figura 1 - Dados climáticos durante o período experimental do final do verão (a seta mais fina representa o momento de corte da forragem e a mais grossa, o momento de aplicação do adubo).

Figura 2 - Dados climáticos durante o período experimental do início do outono (a seta mais fina representa o momento de corte da forragem e a mais grossa, o momento de aplicação do adubo).

contraste das fotos, as áreas basais foram copiadas sobre mesa de luz para um papel vegetal e, em seguida, foram “scaneadas” e coloridas de preto (Figura 4). Segundo Van Lier et al. (1993) esse processo é adequado e visa eliminar aspectos indesejados nas fotos, como cobertura de plantas daninhas, palhada ou sombras, que não interessam ao propósito e seriam registradas no caso da leitura direta da imagem. Na imagem, escolheu-se uma área representativa (equivalente a 6 m² da pastagem), na qual procedeu-se a análise de pontos pretos e brancos.

O método T (“line-transect”) é caracterizado por uma linha de tamanho variável, graduada a intervalos eqüidistantes. A determinação da cobertura vegetal é feita pela interseção dessas marcas com a AB. Nesse método, utilizou-se uma trena de 20 m marcada com arame colorido a cada 0,25 m, totalizando 80 pontos por amostragem. Esta fita foi disposta na área experimental de maneira casualizada (Figura 5) por dez vezes. Após sua acomodação no solo, procedeu-se a determinação dos pontos que interceptavam a AB das touceiras do capim.

No método Q foi confeccionada uma estrutura quadriculada de 2 x 2 m, que serviu para determinar a AB de touceiras de capim-elefante de maneira semelhante ao método T, isto é, pela interseção dos pontos com a AB. Dois lados opostos foram divididos em 16 partes iguais e eqüidistantes. Os outros dois lados foram divididos em cinco partes iguais e eqüidistantes.

A formação da malha foi feita com auxílio de barbante comum, que foi fixado nos lados opostos do quadrado de maneira perpendicular à madeira, formando, assim, um quadriculado (Figura 6). A exemplo do método T, 80 pontos por amostragem (foram realizadas dez amostragens) foram tomados aleatoriamente dentro da área experimental. A interseção dos pontos do quadriculado com a cobertura vegetal determinou a porcentagem de AB.

Por se tratarem de amostragens, as médias de F, T e Q foram comparadas duas a duas pelo teste T, a um nível de significância de 5 %.

Fonte: Adaptado de Van Lier et al. (1993).

Figura 3 - Esquema da estrutura metálica móvel simples utilizada para suspensão da câmera fotográfica.

Figura 4 - Imagem da área basal da pastagem de capim-elefante após o processamento no “scanner”.

Figura 5 - Esquema de avaliação pelo método da trena.

Figura 6 - Croqui do quadrado utilizado na avaliação da área basal.

3.3 Tratamentos dos experimentos de balanço de ^{15}N e de volatilização de amônia

Conduziu-se um experimento no final do verão (**FV**) (27 de fevereiro a 23 de março de 1998) e outro no início do outono (**IO**) (05 de maio a 1º de junho de 1998), com o

objetivo de determinar o balanço de ^{15}N (área vegetada – **AV**) e as perdas de NH_3 por volatilização (área não vegetada – **ANV**) na pastagem experimental, quando adubada com U ou SA. A área experimental teve metragem de aproximadamente 30 x 20 m e, no seu interior, foram locadas 18 parcelas de 5 x 6 m, que eram distantes 1,5 m uma das outras (bordadura).

Os tratamentos para avaliar a volatilização de amônia foram: **U1** – uréia aplicada na dose de 100 kg N.ha⁻¹.época⁻¹; **U2** – uréia aplicada na dose de 136 kg N.ha⁻¹.época⁻¹; e **SAM** – sulfato de amônio aplicado na dose de 100 kg N.ha⁻¹.época⁻¹. Em cada uma das parcelas correspondentes aos tratamentos U1 e SAM, inseriu-se uma microparcela (também referida no texto como lisímetro), objetivando determinar o balanço de ^{15}N na presença de U (**TU**) ou de SA (**TSA**), respectivamente. As adubações nitrogenadas praticadas em TU e TSA foram equivalentes a 100 kg N.ha⁻¹.época⁻¹.

3.4 Variáveis mensuradas e delineamento experimental

Nos experimentos de balanço de ^{15}N avaliou-se, para os tratamentos TU e TSA, a produção de MS (**PMS**) (kg.ha⁻¹), o rendimento de N (**RN**) (kg.ha⁻¹) e a recuperação do adubo marcado (**%R**), expressa como porcentagem do total de N aplicado, nos componentes PA, SR e LIT, ou seja, **PMS-PA**, **PMS-SR**, **PMS-LIT**, **RN-PA**, **RN-SR**, **RN-LIT**, **%R-PA**, **%R-SR** e **%R-LIT**, respectivamente. Além disso, foi acessado o teor de N total (**NT**) (g.kg MS⁻¹) nos três componentes relacionados acima (**NT-PA**, **NT-SR**, **NT-LIT**) e o teor de NT e a %R no solo, estratificado nas camadas de 0 a 0,10 m (**S1**; **NT-S1** e **%R-S1**) e de 0,10 a 0,25 m (**S2**; **NT-S2** e **%R-S2**).

Os somatórios de PA e SR; LIT, S1 e S2 e VEG e S, deram origem aos valores de VEG; S e SP, respectivamente. A produção de MS (**PMS-VEG**) e a recuperação de ^{15}N (**%R-VEG**) da VEG equivaleram ao somatório da PMS-PA com a PMS-SR e da %R-PA com a %R-SR, respectivamente, ao passo que a RN e o teor de NT na VEG (**RN-VEG** e **NT-VEG**) foram obtidas pela ponderação dos valores de RN-PA com RN-SR e NT-PA com NT-SR, respectivamente. A soma dos valores de %R-LIT, %R-S1 e %R-S2 permitiram a determinação da recuperação do adubo marcado no componente solo (**%R-S**), enquanto que a soma da %R-VEG com a %R-S originaram a recuperação de ^{15}N no sistema solo-planta (**%R-SP**).

O experimento de balanço de N e de volatilização de NH_3 tiveram como base os valores de AV e ANV, respectivamente (item 3.2). A ANV foi calculada subtraindo-se de 100 % da área de superfície da pastagem os valores de AV. A PMS e o RN foram obtidos a partir dos valores de AV, sendo extrapolados para a área de 1 ha. Para o cálculo do RN multiplicou-se a produção de MS do componente em questão pelo seu teor de N total.

Em ambos os experimentos de balanço de N marcado, adotou-se um delineamento em blocos completos casualizados com seis repetições, sendo cada microparcela considerada uma repetição. O principal motivo de se utilizar microparcelsas é o de permitir que uma área conhecida seja adubada com fertilizante ^{15}N , possibilitando posteriores quantificações do N marcado nos componentes do sistema SP. Essa técnica é útil em termos de facilidade de amostragem e de redução nos custos experimentais, todavia, observações de campo revelaram que o uso de lisímetros dessa dimensão, isto é, de 0,20 m de diâmetro interno, provocaram injúrias nas touceiras das plantas, o que não é desejável.

Nesse estudo, cada lisímetro (0,40 m de altura) foi inserido dentro de uma área de 5 x 6 m, que correspondia à parcela utilizada no experimento de volatilização de NH_3 . A localização dos lisímetros na área experimental respeitou os tratamentos, isto é, os tratamentos TU e TSA foram locados nas parcelas de U1 e SAM, respectivamente. Essas peças foram enterradas no solo a uma profundidade de 0,25 m, de maneira a envolver a touceira do capim, o que permitiu a separação dos componentes formadores da pastagem em PA, SR, LIT, S1 e S2. Como resultado, 0,15 m ficaram acima do nível do solo e, esse procedimento, teve o intuito de evitar o deslocamento lateral do N marcado e da biomassa vegetal.

Após testados para homogeneidade das variâncias, normalidade dos dados, independência dos erros e aditividade do modelo, os experimentos do FV e do IO, relativos ao balanço de ^{15}N (TU e TSA), foram analisados em conjunto, conforme esquema apresentado por McIntosh (1983). Quando necessário, procedeu-se a transformação dos dados, sendo a análise estatística feita com base nesses números transformados. A análise estatística foi feita segundo os procedimentos do “general linear model procedure” do SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute Inc., 1989) e, quando a análise de variância assinalou valores de F significativos, procedeu-se o teste de Tukey à um nível de significância de 5 %.

Os experimentos de volatilização de NH_3 também contaram com um delineamento em blocos completos casualizados e com seis repetições. Nesse caso, cada um dos três tratamentos foi aplicado em seis das 18 parcelas que compunham a área experimental (item 3.3). Os números foram testados para homogeneidade de variâncias, normalidade residual dos dados, independência dos erros e aditividade do modelo e, quando necessário, foram transformados, sendo a análise estatística feita com base nos números transformados, de acordo com os procedimentos do “general linear model procedures” do SAS (SAS Institute Inc., 1989). Esses experimentos também foram analisados em conjunto, só que nesse caso, utilizou-se o tempo como covariável (Gomes, 1990), para determinar a volatilização acumulada total (**VacT**) para os tratamentos U1, U2 e SAM (**VacT-U1**, **VacT-U2**, **VacT-SAM**, respectivamente). Quando a análise de variância assinalou valores de T significativos, procedeu-se o teste de Tukey à um nível de significância de 5 %. Além dessa medida, construiu-se equações de regressão dos valores de volatilização em U1, U2 e SAM, em função dos dias após a adubação.

3.5 Esquema de corte da forragem

Nas duas épocas de avaliação de volatilização de NH_3 e de balanço de ^{15}N , o capim foi cortado a uma altura de 0,25 – 0,28 m da superfície do solo com uma cortadora/picadora de forragem Siltomac modelo CF – 730, com mecanismo de corte do tipo “faca louca”. No FV o corte ocorreu no dia 27/02 e, no IO, a desfolha foi praticada no dia 05/05. Nas duas épocas a forragem retirada da área foi fornecida aos animais do Departamento.

3.6 Balanço de ^{15}N

Sobre a superfície do solo limitada pelos lisímetros, foi feita a aplicação do N marcado na forma de solução (6,71 g de uréia. 100 mL^{-1} para TU e 14,74 g de sulfato de amônio. 100 mL^{-1} para TSA, com 10,1 e 9,3 átomos % em excesso, respectivamente) com auxílio de pipetas (uma para cada tratamento para não haver contaminação). Cada microparcela recebeu um volume de 10 mL da respectiva solução em cada uma das duas épocas, isto é, nos dias 06/03 e 11/05, que corresponderam aos experimentos de FV e IO,

respectivamente. O uso de solução foi adotado para permitir uma distribuição mais homogênea do fertilizante.

As microparcelas permaneceram no campo por 16,7 e 20,8 dias após a aplicação do fertilizante ^{15}N , respectivamente para o FV e IO. Uma vez retiradas da pastagem foram levadas para as dependências do Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e os diversos componentes do sistema SP foram separados. A PA representou todo o material vegetal acima de 5 cm do nível do solo. O LIT representou o resíduo vegetal remanescente sobre a superfície do solo e, o SR, compreendeu o resíduo deixado pelo corte de determinação da PA mais a coroa da planta e as raízes mais grossas encontradas no solo. As raízes mais finas permaneceram no componente solo.

As amostras de PA, SR e LIT foram secas em estufa ($55 - 65^\circ \text{C}$) por 48 horas e, após estarem secas, foram moídas (malha de 0,3 mm, ABNT 50) em moinho tipo Willey. As amostras de solo, separadas em duas profundidades (S1 e S2), foram destorroadas e subamostradas. As subamostras foram secas em estufa ($55 - 65^\circ \text{C}$, por 48 horas) e, subsequentemente, moídas em moinho de bola (granulometria “talco”). Para todos os cálculos deste estudo, considerou-se o peso seco das amostras, descontando-se o peso do material condicionador. Posteriormente, todas as amostras foram analisadas para N total e abundância isotópica de ^{15}N .

As amostras S1 e S2 foram analisadas para N total e abundância isotópica de ^{15}N com espectrômetro de massa automatizado de fluxo contínuo para análise de nitrogênio e carbono (ANCA) (Barrie, 1991), da Europa Scientific, modelo SL 20 – 20. O N total e a abundância isotópica de ^{15}N das amostras de PA, SR e LIT foram determinados pelo método micro-Kjeldhal de digestão-destilação e pela metodologia de Dumas-Rittenberg modificada, respectivamente (Trivelin et al., 1973). O espectrômetro de massa utilizado neste caso (Atlas MAT CH4) foi do tipo de relação isotópica de fluxo molecular. Os cálculos de abundância isotópica de ^{15}N foram feitos de acordo com as equações 2, 3, 4 e 5, apresentadas abaixo (Barracclough, 1991; Trivelin, 1996).

$$\% \text{NDFMA} = 100 \times (\text{AINA} - \text{AINN}) / (\text{ENMF} - \text{AINN}) \quad (2)$$

$$\text{QNA} = \text{MA} \times (\% \text{NA}) \quad (3)$$

$$\text{NDFMA} = (\% \text{NDFMA} / 100) \times \text{QNA} \quad (4)$$

$$\% \text{RNMA} = (\text{NDFMA} / \text{QFA}) \times 100 \quad (5), \text{ onde:}$$

%NDFMA = porcentagem do N derivado do fertilizante marcado na amostra;

AINA = abundância isotópica de N na amostra;

AINN = abundância isotópica natural de N;

ENMF = enriquecimento de N marcado no fertilizante;

QNA = quantidade de N total na amostra;

MA = massa líquida da amostra;

%NA = porcentagem de N total na amostra;

NDFMA = quantidade do N derivado do fertilizante marcado na amostra;

%RNMA = porcentagem de recuperação do fertilizante marcado na amostra;

QFA = quantidade total do fertilizante aplicada.

3.7 Volatilização de amônia

Sistemas coletores fechados permitiram que os principais fatores interferindo na volatilização de amônia fossem determinados em laboratório (Jarvis et al., 1995), porém, esses aparelhos geram condições artificiais que prejudicam o fluxo de NH_3 da superfície do solo para a atmosfera, podendo ocorrer inclusive a reabsorção da NH_3 pelo solo. Nesse contexto, alguns pesquisadores têm adotado sistemas coletores semi-abertos estáticos (Oliveira et al., 1997, Spolidório et al., 1997, Lara Cabezas et al., 1997), os quais permitem uma melhor troca gasosa entre o solo e a atmosfera.

Esses aparelhos podem ser aplicados em condições de campo para aferir a quantidade de amônia volatilizada na área não vegetada com segurança, visto que a calibração do sistema coletor de amônia foi efetuada para que os resultados possam expressar a volatilização de NH_3 sem a influência dos mesmos (Lara Cabezas & Trivelin, 1990; Trivelin et al., 1997; Lara Cabezas et al., 1999).

Este aparelho, descrito detalhadamente por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e por Lara Cabezas et al. (1999), consiste de uma estrutura tubular de PVC transparente (0,40 m de altura x 0,145 m de diâmetro x 1 mm de espessura), que contém suportes no seu interior com função de sustentar duas espumas absorvedoras de amônia (densidade 0,02 g/cm³). A espuma superior permite a coleta de NH_3 da atmosfera, evitando que o absorvedor inferior, que capta a amônia volatilizando da superfície do solo, seja contaminado. Esta estrutura, que é aberta

nas extremidades, foi montada em cima de um suporte de PVC branco, o qual foi aleatoriamente colocado na área não vegetada da pastagem (dois coletores por parcela, respeitando os tratamentos) e enterrado no solo com auxílio de uma faca a uma profundidade de 3 a 5 cm. Na união do suporte com o coletor utilizou-se massa para calafetar com o objetivo de vedar, mas não o de fixar ambas as superfícies. Essa ação teve o propósito de evitar que a amônia que volatilizava do solo fosse perdida para fora do coletor. Na extremidade oposta ao solo colocou-se um chapéu para evitar a incidência de chuvas no interior do coletor. Quando da ocorrência de precipitação pluviométrica, retirou-se ambas as espumas e adicionou-se água em quantidade equivalente a verificada no ambiente exterior.

As adubações com nitrogênio, de acordo com os tratamentos, na primeira e na segunda época, foram realizadas nos dias 06/03 e 11/05/1998, respectivamente. O nitrogênio foi aplicado com auxílio de pipetas de 10 mL (uma para cada tratamento para evitar contaminação). Nos tratamentos U1, U2 e SAM, as concentrações das soluções foram de 7,34 g de uréia, 10,01 g de uréia e 15,73 g de sulfato de amônio por 200 mL de solução, respectivamente, o que correspondeu a adubações de 100, 136 e 100 kg de N.ha⁻¹.época⁻¹, respectivamente. Cada coletor recebeu a aplicação a lanço e em superfície de 10 mL (por época) da respectiva solução. O N aplicado no interior dos coletores não era marcado. Outros quatro coletores (“coletores branco”) foram instalados na área experimental no FV e no IO com o objetivo de corrigir os valores de VacT devido ao material absorvedor. Para atender esse fim, utilizou-se coletores que eram vedados na extremidade de contato com o solo.

Cerca de um a dois dias antes de cada troca de espuma, as mesmas foram embebidas em solução de ácido sulfúrico 0,5 N e glicerina (3 %v/v), conforme recomendado por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e Lara Cabezas et al. (1999). Adicionou-se um volume de aproximadamente 35 mL desta solução em cada espuma. O excesso do ácido foi retirado e as espumas foram acondicionadas numa bandeja, objetivando o transporte para o campo. Com o auxílio de luvas de borracha e de uma pinça comprida, as espumas foram colocadas no interior dos coletores, de maneira a ficarem na posição horizontal e vedarem, por completo, o diâmetro interno do aparelho.

Em cada época de troca as espumas superiores foram descartadas, enquanto as inferiores, que absorveram a amônia que volatilizou do solo, foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. Os sacos plásticos contendo as espumas foram vedados

e ficaram guardados sob refrigeração até o momento da análise. Ao término de cada período de aplicação do adubo nitrogenado (FV ou IO), os coletores foram retirados do campo e lavados.

O número de trocas de absorvedores ficou vinculado à taxa de volatilização de NH_3 . Assim, a partir do momento em que os valores detectados se aproximavam dos registrados nos coletores branco, interrompia-se a coleta de dados no período. No experimento do FV efetuou-se cinco coletas no tempo (2,7; 4,7; 7,7; 10,7 e 16,7 daa), enquanto que no experimento do IO, praticou-se seis coletas no tempo (1,8; 3,8; 7,1; 10,1; 14,0 e 20,8 daa).

No laboratório, as espumas foram retiradas individualmente do refrigerador para extração forçada da amônia. Essa extração foi feita colocando-se a espuma sobre o papel de filtro localizado sobre um funil de porcelana. Com o auxílio de uma bomba de vácuo, o absorvedor foi lavado com água deionizada (aproximadamente 400 mL por espuma). Durante todo o processo de extração, as partes que entravam em contato com o absorvedor eram lavadas com água deionizada para evitar a perda de NH_3 . Além disso, todo o processo foi feito com o auxílio de uma pinça para evitar a contaminação do material a ser analisado. Entre a extração de NH_3 de duas espumas sucessivas, todo o material era lavado, primeiramente com água de torneira e, subsequentemente, enxaguado com água deionizada.

A solução extraída de cada espuma (aproximadamente 470 a 500 mL) foi acidificada com 1 mL de ácido sulfúrico 1 *N* e colocada num bécker para concentrar em estufa, à temperatura de 60° C. Após dois a três dias na estufa as amostras estavam com um volume ao redor de 50 a 100 mL e, então, eram transferidas para um balão volumétrico de 200 mL para determinação de NH_3 . Durante o processo de transferência da solução contendo amônia que estava no bécker (estufa) para o balão volumétrico, tomava-se cuidado para que a amostra não fosse perdida para fora do balão e, a exemplo dos cuidados anteriores, praticava-se a lavagem dos recipientes com água deionizada. A determinação da amônia retida nos absorvedores foi feita por destilação e titulação (Lara Cabezas & Trivelin, 1990). A solução destilada foi recebida em 5 mL de ácido bórico 2 % e titulada com ácido sulfúrico 0,051 *N*.

4 RESULTADOS

4.1 Área basal

Os resultados obtidos (Tabela 3 e Figura 7) demonstraram que as médias entre T e Q e Q e F são semelhantes ($P > 0,05$), mas que as médias entre T e F são diferentes ($P < 0,05$).

Tabela 3. Porcentagem de área basal em pastagem de capim-elefante, em função de três métodos de avaliação.

Amostragem	% de área vegetada			Desvio padrão			Coeficiente de variação (%)		
	Trena	Quadrado	Foto	Trena	Quadrado	Foto	Trena	Quadrado	Foto
1	48	44	40	0,28	0,00	0,85	0,59	0,00	2,04
2	44	43	48	2,55	0,50	3,15	5,35	1,14	7,55
3	43	54	41	3,25	5,00	0,35	6,83	11,36	0,84
4	53	41	46	3,82	1,50	2,15	8,02	3,41	5,16
5	45	45	37	1,84	0,50	2,35	3,86	1,14	5,64
6	48	34	39	0,28	5,00	1,35	0,59	11,36	3,24
7	41	29	37	4,67	7,50	2,35	9,80	17,05	5,64
8	56	58	42	5,94	7,00	0,15	12,48	15,91	0,36
9	49	49	46	0,99	2,50	2,15	2,08	5,68	5,16
10	49	43	41	0,99	0,50	0,35	2,08	1,14	0,84
Média*	47,6 a	44,0 a,b	41,7 b	4,58	8,55	3,04	5,17	6,82	3,65

* Médias na linha, seguidas por letras distintas, são estatisticamente diferentes ao nível de 5 %.

As estimativas da AB obtidas pelo método T superestimaram em 6 unidades percentuais os valores determinados pelo método F (Tabela 3; Figura 7). Laflen et al. (1981)

trabalhando com resíduos de culturas agrícolas, acharam que os valores do método T foram superiores aos de F em 6 a 10 unidades percentuais.

Figura 7 - Comparação entre os métodos da trena, quadrado e fotografia, na estimativa da área basal de pastagem de capim-elefante.

As estimativas menos precisas observadas nos métodos T e Q, indicadas pelo maior desvio padrão (Tabela 3), provavelmente foram devidas à dificuldade em se assumir a mesma posição de visualização para todos os pontos no momento da tomada dos dados, uma vez que a posição e o ângulo de visão são influenciados pela proximidade da área basal à linha de visão (Figura 3). De acordo com Laflen et al. (1981), essa fonte de erro é difícil de ser corrigida.

4.2 Balanço de ^{15}N

Dada as semelhanças ($P > 0,05$) verificadas entre T e Q e Q e F, optou-se por trabalhar nos experimentos de balanço de ^{15}N com o valor de AB (ou AV) média dos três métodos, isto é, 44 % da superfície da pastagem (Tabela 3; Figura 7).

4.2.1 Produção de matéria seca

Os resultados para PMS-PA, PMS-SR, PMS-VEG e PMS-LIT são apresentados na Tabela 4. Pelos valores inseridos nessa Tabela, percebe-se que a época de aplicação do N teve efeito significativo sobre a PMS-PA ($P < 0,01$) e PMS-LIT ($P < 0,001$), mas não sobre a PMS-SR e PMS-VEG ($P > 0,05$). No caso da PA, a maior PMS foi verificada no FV, enquanto que, para o LIT, constatou-se maior PMS no IO (Tabela 5). Em relação à PMS-VEG, não se verificou efeito ($P > 0,05$) dos tratamentos TU e TSA ou da época de adubação, porém, um significativo efeito ($P < 0,05$) da interação fonte de N x época de aplicação do fertilizante nitrogenado foi constatado (Tabela 4 e 6).

Apesar da análise da PMS-VEG (Tabela 6) nas épocas não mostrar diferenças entre TSA e TU (0,5676 e 0,1935 para o FV e IO, respectivamente), ela revelou que o TSA se comportou de maneira semelhante ($P > 0,05$) entre o FV e o IO, mas que TU teve efeitos diferentes ($P < 0,05$) entre os períodos avaliados (Tabela 6), provavelmente refletindo a menor PMS-VEG em TU no IO, que representou aproximadamente 44,5 % dos valores obtidos no FV (Tabela 4).

As variáveis PMS-PA, PMS-SR e PMS-LIT não foram afetadas ($P > 0,05$) pela fonte de N ou pela interação fertilizante nitrogenado x época de adubação (Tabela 4), embora tenha se observado uma tendência ($P = 0,0709$) da interação fonte de N x época de adubação para a variável PMS-SR. Esse fato pode ser o reflexo da redução da PMS-SR no tratamento TU, onde os valores encontrados no IO representaram aproximadamente 46,2 % daqueles do FV (Tabela 4). Informações relativas à produção de PMS-SR de gramíneas tropicais são escassas na literatura, em grande parte, devido às dificuldades de se quantificar esse componente. No entanto, tomando-se as médias dos tratamentos em cada época, nota-se que a quantidade de MS retida no SR superou aquela verificada na PA em 2,6 e 3,7 vezes, respectivamente no FV

e no IO (Tabela 4). Este fato é relevante, no sentido de demonstrar a representatividade do componente SR em ecossistemas de pastagens e, também, por possivelmente indicar o acúmulo de reservas fisiológicas na base das hastes e nas raízes em períodos de crescimento menos ativos da pastagem (Davies, 1988; Lemaire, 1997).

Tabela 4. Produção de matéria seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) da parte aérea (PMS-PA), sistema radicular (PMS-SR), vegetação (PMS-VEG) e liter (PMS-LIT) no final do verão (FV) e no início do outono (IO) em função da adubação com uréia (TU) ou sulfato de amônio (TSA).

Tratamento	PMS-PA ¹	PMS-SR	PMS-VEG ²	PMS-LIT
FV				
TU	5627 (1930) ³	15649 (5417)	21276 (6741)	2311 (1264)
TSA	5294 (2611)	12369 (7768)	17663 (9946)	2218 (745)
IO				
TU	2236 (591)	7229 (2446)	9465 (2402)	7991 (2497)
TSA	3434 (1538)	13728 (6356)	17162 (6854)	6703 (1822)
Pr > F ⁴				
Época (E)	**	NS	NS	***
Fonte de N (T)	NS	NS	NS	NS
E * T	NS	NS	*	NS
r ²	0,7700	0,6158	0,7700	0,8919
CV (%)	3,94	48,40	3,94	31,99

¹ transformação: potência - 0,01; ² transformação: log base 10.

³ valores entre parênteses representam os desvios padrões.

⁴ NS, não significativo; * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001.

Tabela 5. Efeito da época de adubação (final do verão – FV ou início do outono – IO) sobre a produção de matéria seca (kg.ha^{-1}) da parte aérea (PMS-PA) e do liter (PMS-LIT).

Epoca	PMS-PA	PMS-LIT
FV	5460 A ¹	2265 D
IO	2835 B	7347 C

¹ Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 6. Efeito da interação fonte de nitrogênio x época de adubação sobre a variável matéria seca (kg.ha^{-1}) da vegetação (PMS-VEG), quando adubada com uréia (TU) ou sulfato de amônio (TSA) no final do verão (FV) ou no início do outono (IO).

Época		FV		IO	
		TSA	TU	TSA	TU
FV	TSA	X	0,5676 ¹	0,9801	X
	TU	0,5676	X	X	0,0448
IO	TSA	0,9801	X	X	0,1935
	TU	X	0,0448	0,1935	X

¹ Ajuste para comparações múltiplas feita pelo teste de Tukey.

4.2.2 Teor de N total

Os valores de N total das variáveis NT-PA, NT-SR, NT-VEG, NT-LIT, NT-S1 e NT-S2 são apresentados na Tabela 7. Por essa Tabela, verifica-se que nenhuma das variáveis relacionadas acima foi afetada pela fonte do adubo nitrogenado ou pela interação fonte de N x época de adubação. Por outro lado, os resultados de NT-PA, NT-S1 e NT-S2 revelaram efeitos significativos ($P < 0,05$) para época de aplicação do fertilizante nitrogenado, enquanto que a época de adubação com N não afetou o NT-SR, o NT-VEG e o NT-LIT ($P > 0,05$) (Tabela 7). Para o NT-PA os valores registrados no IO superaram aqueles verificados no FV,

ao passo que, para o NT-S1 e NT-S2, houve um decréscimo nos teores de N no IO, em comparação com o FV (Tabela 8).

Tabela 7. Nitrogênio total (g.kg de MS⁻¹) na parte aérea (NT-PA), sistema radicular (NT-SR), vegetação (NT-VEG), liter (NT-LIT), solo na camada de 0 a 0,10 (NT-S1) e de 0,10 a 0,25 m (NT-S2) no final do verão (FV) ou no início do outono (IO) em função da adubação com uréia (TU) ou sulfato de amônio (TSA).

Tratamento	NT-PA	NT-SR	NT-VEG	NT-LIT ¹	NT-S1 ²	NT-S2 ³
FV						
TU	15,34 (3,14) ⁴	9,13 (2,03)	10,77 (2,22)	11,80 (3,72)	4,70 (1,20)	2,10 (0,30)
TSA	15,79 (2,06)	8,85 (1,02)	11,41 (1,06)	13,02 (3,40)	3,70 (0,70)	1,90 (0,20)
IO						
TU	17,98 (3,04)	9,29 (1,62)	11,43 (2,05)	10,77 (2,52)	3,20 (0,50)	0,18 (0,05)
TSA	17,56 (4,08)	9,06 (1,11)	10,56 (0,93)	12,90 (2,27)	3,20 (0,40)	1,80 (0,30)
Pr > F ⁵						
Época (E)	*	NS	NS	NS	*	*
Fonte de N (T)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E * T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
r ²	0,7113	0,5699	0,3738	0,6736	0,8358	0,4687
CV (%)	15,47	15,44	17,41	51,26	5,64	44,03

¹ transformação: potência 3; ² transformação: potência - 0,4; ³ transformação: potência - 2,7.

⁴ valores entre parênteses representam os desvios padrões

⁵ NS, não significativo; * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

4.2.3 Rendimento de N

Os resultados encontrados para RN-PA, RN-SR, RN-VEG e RN-LIT são apresentados na Tabela 9. A Tabela 9 indica que a fonte de N não foi significativa (P > 0,05) para nenhuma das variáveis, que a época de aplicação do adubo nitrogenado foi significativa

apenas para RN-PA ($P < 0,01$) e RN-LIT ($P < 0,001$) e que a interação adubo x época de fertilização foi significativa ($P < 0,05$) somente para as variáveis RN-SR e RN-VEG. Observou-se maiores valores para RN-PA no FV, em relação ao IO e maior RN-LIT no IO, em comparação com o FV (Tabela 10). A análise da interação fonte de N x época de adubação para RN-SR (Tabelas 9 e 11) e RN-VEG (Tabelas 9 e 12) revelou semelhanças ($P > 0,05$) entre TU e TSA e entre o tratamento TSA no FV e no IO. Por outro lado, no tratamento TU observou-se menores RN no IO, em comparação ao FV, tanto para RN-SR ($P < 0,05$) (Tabela 11), como para RN-VEG ($P < 0,05$) (Tabela 12).

Tabela 8. Efeito da época de adubação (final do verão – FV, ou início do outono – IO) sobre o teor de nitrogênio total na parte aérea (NT-PA), solo na camada de 0 a 0,10 (NT-S1) e de 0,10 a 0,25 m (NT-S2).

Epoca	NT-PA	NT-S1	NT-S2
FV	15,56 B ¹	4,20 C	2,00 E
IO	17,77 A	3,20 D	1,80 F

¹ Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

4.2.4 Recuperação de ^{15}N

Os resultados para recuperação do fertilizante marcado são apresentados na Tabela 13. Nota-se por essa Tabela, que os únicos efeitos significativos observados foram para fonte de N, no caso de %R-PA ($P < 0,05$) e para época de adubação, no caso de %R-LIT ($P < 0,001$). Para %R-PA, as recuperações no tratamento TSA superaram aquelas do tratamento TU (Tabela 14), enquanto que, para %R-LIT, os valores recuperados no IO foram significativamente maiores do que aqueles obtidos no FV (Tabela 15).

4.3 Volatilização de amônia

Para garantir um melhor ajuste do modelo estatístico, os valores de VacT foram transformados para log base 10, sendo a análise de variância efetuada com os números

transformados. A análise dos resultados (Tabela 16) mostrou efeitos altamente significativos ($P < 0,001$) para fonte de N, época de adubação, interação fertilizante nitrogenado x época de aplicação de N e daa. Na Tabela 17 estão inseridos os resultados para a interação fertilizante nitrogenado x época de adubação. Os valores inseridos nessa Tabela revelam que os tratamentos U1 e U2 foram semelhantes ($P = 0,9995$) nas avaliações realizadas no FV e apresentaram níveis de perdas de NH_3 por volatilização (Tabela 16) bastante superiores ao tratamento SAM nesta época ($P = 0,0001$ nas comparações entre SAM e U1 e SAM e U2).

Tabela 9. Rendimento de nitrogênio (kg.ha^{-1}) na parte aérea (RN-PA), sistema radicular (RN-SR), vegetação (RN-VEG) e liter (RN-LIT) no final do verão (FV) e no início do outono (IO) em função da adubação com uréia (TU) ou sulfato de amônio (TSA).

Tratamento	RN-PA ¹	RN-SR ²	RN-VEG ³	RN-LIT ⁴
FV				
TU	89 (43) ⁵	141 (50)	230 (83)	29 (19)
TSA	82 (37)	130 (66)	195 (104)	29 (15)
IO				
TU	40 (12)	65 (17)	105 (18)	84 (26)
TSA	57 (20)	127 (68)	184 (83)	84 (21)
Pr > F ⁶				
Época (E)	**	NS	NS	***
Fonte de N (T)	NS	NS	NS	NS
E * T	NS	*	*	NS
r ²	0,7672	0,8082	0,7502	0,8790
CV (%)	8,84	18,35	7,69	18,27

¹ transformação: log base 10; ² transformação: potência 0,5; ³ transformação: log base 10

⁴ transformação: potência 0,5

⁵ valores entre parênteses representam os desvios padrões

⁶ NS, não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tabela 10. Efeito da época de aplicação do fertilizante nitrogenado (final do verão - FV ou início do outono – IO) sobre o rendimento de nitrogênio na parte aérea (RN-PA) e liter (RN-LIT).

Época	RN-PA	RN-LIT
FV	85 A ¹	29 D
IO	48 B	84 C

¹ Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 11. Efeito da interação fonte de nitrogênio (uréia – TU ou sulfato de amônio – TSA) x época de adubação (final do verão – FV ou início do outono – IO) sobre o rendimento de nitrogênio no componente sistema radicular.

Época		FV		IO	
		TSA	TU	TSA	TU
FV	TSA	X	0,8839 ¹	1,0000	X
	TU	0,8839	X	X	0,0307
IO	TSA	1,0000	X	X	0,0902
	TU	X	0,0307	0,0902	X

¹ Ajuste para comparações múltiplas feito pelo teste de Tukey.

Por outro lado, no IO, os tratamentos SAM e U1 ($P = 0,3206$) e SAM e U2 ($P = 0,5743$) foram semelhantes, ao passo que as perdas de NH_3 registradas no tratamento U1 foram significativamente inferiores ($P = 0,0036$) às verificadas em U2 (Tabelas 16 e 17). Os dados inseridos nas Tabelas 16 e 17 ainda permitem acessar o comportamento de U1, U2 e SAM nos diferentes experimentos, isto é, nos experimentos do FV e do IO. Nos três tratamentos, as perdas de NH_3 por volatilização foram sensivelmente reduzidas ($P = 0,0001$) no IO, em relação ao FV.

Dividindo-se as quantidades de NH_3 volatilizadas pelo total de N aplicado na ANV, é possível acessar as perdas de N em relação ao total aplicado. Esse cálculo mostrou que no FV

e no IO as perdas em U1, U2 e SAM foram de 80,6 e 15,2 %; 58,5 e 12,9 % e 21,4 e 16,6 %, respectivamente.

Tabela 12. Efeito da interação fonte de nitrogênio (uréia – TU ou sulfato de amônio – TSA) x época de adubação (final do verão – FV ou início do outono – IO) sobre o rendimento de nitrogênio na vegetação.

Época		FV		IO	
		TSA	TU	TSA	TU
FV	TSA	X	0,6433	0,9997	X
	TU	0,6433	X	X	0,0356
IO	TSA	0,9997	X	X	0,1969
	TU	X	0,0356	0,1969	X

¹ Ajuste para comparações múltiplas feito pelo teste de Tukey.

Como as tomadas de medidas para compor a VacT foram feitas em diversos tempos dentro de cada época de avaliação (item 3.7; Tabela 18), foi possível gerar análises de regressão dos tratamentos em função dos daa (Figuras 8, 9 e 10). Dividindo-se os números inseridos na Tabela 18 pelo total de N aplicado na ANV, tem-se a evolução das perdas de NH_3 no FV e no IO, como porcentagem do total de N aplicado (Tabela 19).

Para a construção das análises de regressão (FV e IO) foi necessária a transformação dos números para log base 10, no sentido de atender as exigências do modelo estatístico. As curvas foram melhor representadas por equações quadráticas que embora significativas (Tabela 20), não revelaram valores de R^2 elevados para U1 (Figura 8) e U2 (Figura 9) no FV. No caso de SAM (Figura 10), notou-se que o valor de R^2 foi superior aos determinados para as adubações com U1 e U2 no FV e, para os três tratamentos, no IO, verificou-se que as equações de regressão geradas responderam, no mínimo, por 71 % das variações observadas na volatilização de NH_3 (Tabela 20).

Tabela 13. Recuperação do fertilizante ^{15}N (% do total de N aplicado) nos diversos componentes da pastagem no final do verão (FV) ou no início do outono (IO) em função da adubação com uréia (TU) ou sulfato de amônio (TSA)*.

Tratamento	%R-PA	%R-SR	%R-VEG	%R-LIT	%R-SI ¹	%R-S2 ²	%R-S ³	%R-SP
FV								
TU	21,27 (4,34) ⁴	11,74 (2,53)	33,01 (3,47)	4,03 (2,53)	16,13 (8,40)	2,63 (1,07)	22,79 (6,15)	55,8 (9,16)
TSA	26,01 (9,25)	14,08 (8,10)	40,09 (11,82)	3,91 (2,56)	21,53 (11,4)	3,96 (2,44)	29,40 (11,17)	69,48 (12,83)
IO								
TU	18,17 (3,94)	11,43 (1,58)	29,61 (5,46)	8,53 (2,34)	11,63 (2,65)	1,82 (1,04)	21,98 (4,17)	51,58 (2,74)
TSA	22,49 (4,86)	20,63 (6,73)	43,12 (9,35)	10,28 (2,36)	22,58 (8,96)	4,41 (2,72)	37,26 (8,24)	80,39 (3,82)
Pr > F ⁵								
Época (E)	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS
Fonte de N (T)	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
E x T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
r ²	0,7086	0,6960	0,6525	0,9024	0,6257	0,4764	0,7246	0,8423
CV (%)	23,39	36,71	23,11	25,85	4,64	21,82	5,21	13,06

* para legendas, vide texto.

¹ transformação: potência 0,1; ² transformação: potência 0,3; ³ transformação: potência - 0,2.

⁴ valores entre parênteses representam os desvios padrões.

⁵ NS, não significativo; * P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001.

Tabela 14. Efeito da fonte de nitrogênio sobre a recuperação (% do total de N aplicado) do fertilizante ^{15}N na parte aérea (%R-PA) de capim-elefante em função da adubação com sulfato de amônio (TSA) ou uréia (TU).

Fonte de N	%R-PA
TSA	24,25 A ¹
TU	19,72 B

¹ Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística (P < 0,05) pelo teste de Tukey.

Tabela 15. Efeito da época de aplicação do nitrogênio (final do verão – FV ou início do outono – IO) sobre a recuperação (% do total de N aplicado) do fertilizante ^{15}N no componente liter (%R-LIT) da pastagem.

Epoca	%R-LIT
FV	3,97 B ¹
IO	9,40 A

¹ Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 16. Efeito da fonte de nitrogênio (N), época de adubação, interação fonte do fertilizante nitrogenado x época de aplicação do adubo e dias após a adubação (daa) sobre a volatilização acumulada total (VacT) no final do verão (FV) e no início do outono (IO), em função da aplicação de 100 (U1) ou 136 kg N-uréia.ha⁻¹ (U2), ou de 100 kg N-sulfato de amônio.ha⁻¹ (SAM).

	VacT	
	(kg.ha ⁻¹ de área não vegetada)	
	FV ¹	IO ²
U1	45,15	8,52
U2	44,55	9,83
SAM	11,96	9,32
Pr > T ³		
Fonte de N	***	
Época	***	
Fonte de N x época	***	
daa	***	
r ²	0,9346	
CV	12,00	

¹ Valores correspondentes a 16,7 dias de avaliação; ² Valores correspondentes a 20,8 dias de avaliação.

³ Todos valores significativos $P < 0,001$.

Tabela 17. Efeito da interação fonte de nitrogênio (U1 = 100 kg N-uréia.ha⁻¹; U2 = 136 kg N.ha⁻¹; SAM = 100 kg N-sulfato de amônio.ha⁻¹ ANV) x época de adubação (final do verão – FV ou início do outono – IO) sobre a volatilização acumulada total de amônia.

	U1 - FV	U1 - IO	U2 - FV	U2 - IO	SAM - FV	SAM - IO
U1 - FV	x	0,0001 ¹	0,9995	x	0,0001	x
U1 - IO	0,0001	x	x	0,0036	x	0,3206
U2 - FV	0,9995	x	x	0,0001	0,0001	x
U2 - IO	x	0,0036	0,0001	x	x	0,5743
SAM - FV	0,0001	x	0,0001	x	x	0,0001
SAM - IO	x	0,3206	x	0,5743	0,0001	x

¹ Valores dos quadrados mínimos médios ajustados para comparação múltipla pelo teste de Tukey.

Tabela 18. Perda de amônia por volatilização (kg.ha⁻¹ ANV) em diversos dias após a adubação (daa).

Final do verão						
daa	2,7	4,7	7,7	10,7	16,7	
SAM	5,43	1,84	1,86	1,31	1,52	
U1	35,76	3,42	3,3	1,27	1,39	
U2	36,18	3,23	2,99	1,18	0,98	

Início do outono						
daa	1,8	3,8	7,1	10,1	14	20,8
SAM	2,06	1,53	1,55	1,45	1,83	0,88
U1	2	1,36	1,49	1,27	1,61	0,79
U2	2,33	1,43	1,55	1,65	1,98	0,88

Tabela 19. Percentual de amônia perdida por volatilização, em relação ao total de nitrogênio aplicado, em diversos dias após a adubação (daa).

daa	Final do verão				
	2,7	4,7	7,7	10,7	16,7
SAM	9,70	3,29	3,32	2,34	2,71
U1	63,86	6,11	5,89	2,27	2,48
U2	47,48	4,24	3,92	1,55	1,29

daa	Início do outono					
	1,8	3,8	7,1	10,1	14	20,8
SAM	3,68	2,73	2,77	2,59	3,27	1,57
U1	3,57	2,43	2,66	2,27	2,88	1,41
U2	3,06	1,88	2,03	2,17	2,60	1,15

Tabela 20. Equações de regressão para os efeitos da fonte de nitrogênio (U1 = 100 kg N-uréia.ha⁻¹; U2 = 136 kg N.ha⁻¹; SAM = 100 kg N-sulfato de amônio.ha⁻¹ ANV) e dos dias após a adubação (daa) sobre a volatilização de amônia no final do verão (FV) e no início do outono (IO).

Efeito da fonte de nitrogênio sobre a volatilização de amônia ¹			
Equação		R ²	Significância ²
FV			
U1	Volatilização = 1,4962 + 0,0211 * daa – 0,0007 * daa ²	0,1338	*
U2	Volatilização = 1,5136 + 0,0194 * daa – 0,0007 * daa ²	0,3621	***
SAM	Volatilização = 0,5770 + 0,0639 * daa – 0,0021 * daa ²	0,5969	***
IO			
U1	Volatilização = 0,1456 + 0,0890 * daa – 0,0025 * daa ²	0,7096	***
U2	Volatilização = 0,2488 + 0,0822 * daa – 0,0023 * daa ²	0,9141	***
SAM	Volatilização = 0,1848 + 0,0887 * daa – 0,0025 * daa ²	0,8188	***

¹ Dados transformados para log base 10; ² * P < 0,05; *** P < 0,001.

Figura 8 - Efeito da adubação com uréia (100 kg N.ha⁻¹) no final do verão (FV) ou no início do outono (IO) sobre a volatilização acumulada de amônia.

Figura 9 - Efeito da adubação com uréia (136 kg N.ha⁻¹) no final do verão (FV) ou no início do outono (IO) sobre a volatilização acumulada de amônia.

Figura 10 - Efeito da adubação com sulfato de amônio (100 kg N.ha⁻¹) no final do verão (FV) ou no início do outono (IO) sobre a volatilização acumulada de amônia.

5 DISCUSSÃO

5.1 Área basal

A baixa proporção de solo coberto pela vegetação, isto é, cobertura inferior a 50 % da superfície do pasto, se deve, provavelmente, ao manejo imposto na pastagem e à elevada fertilidade do solo, que favoreceram o estabelecimento de plantas com vigor acentuado. Esse fato pode ser constatado pela presença de touceiras grandes e volumosas, as quais tem maior capacidade de competição por fatores de crescimento (luz, água e nutrientes), refletindo, assim, na ausência de invasoras na área. Desta forma, no presente estudo, a menor proporção de AV, em relação à ANV, não refletiu um mau manejo da pastagem e/ou um ambiente propício à degradação do pasto.

Laflen et al. (1981) indicaram que 5 amostragens no método T foram suficientes para obtenção de uma boa precisão e que mais amostragens não melhoraram de maneira sensível este parâmetro. No presente estudo, quando uma análise das primeiras cinco medidas foi feita, não se constatou a mesma tendência, provavelmente devido ao hábito de crescimento do capim-elefante, que dificulta assumir o mesmo ponto de visão para todas as leituras. Além disso, a facilidade e rapidez com que o método da trena e os outros métodos podem ser efetuados, sugerem que um mínimo de dez amostragens sejam realizadas em áreas homogêneas.

Cabe ressaltar que em situações de pastejo existe o potencial para o aparecimento de áreas sub e superpastejadas e, portanto, com desuniformidade de touceiras. Desta forma, o regime de desfolha no pasto (intensidade e frequência de pastejo) determina a uniformidade ou não das plantas forrageiras (Harris, 1978). Assim, conforme o tamanho da área amostrada e do manejo empregado na pastagem, pode-se obter grande variação nas estimativas geradas, independentemente do método utilizado. Numa situação como esta, o desvio padrão e o

coeficiente de variação dos resultados tendem a ser muito grandes, sugerindo que um maior número de amostragens e/ou divisão da gleba em áreas homogêneas seja praticado (Kuehl, 1994). Esta sugestão não se constitui em empecilho para quantificação da AB, uma vez que um maior número de amostragens não requer um aumento considerável no tempo total de avaliação. O método F, por exemplo, possibilita rendimentos de até 20 fotos.hora⁻¹ (Van Lier et al., 1993).

Os resultados deste experimento permitem sugerir que os métodos podem ser utilizados para outros fins, como o estudo da evolução da cobertura vegetal e infestação de plantas daninhas em pastagens. Determinações da cobertura vegetal de *Crotalaria juncea* (Van Lier et al., 1993) foram efetuadas com êxito pelo método da fotografia “scaneada”. Os métodos fotográficos têm sido freqüentemente associados a difícil execução e processamento, no entanto, a utilização de “scanners” comuns e microcomputadores IBM-compatíveis parecem viabilizar este método, tanto em pesquisas, como em propriedades.

O método da trena tem sido amplamente utilizado em culturas agrícolas. Este estudo mostrou que o método T também pode ser aplicado em avaliações de pastagens de capim-elefante com sucesso. O método do quadrado, nas condições do estudo, mostrou ser o de mais fácil execução, tanto em termos da leitura, como de amostragem. Entretanto, o método Q foi o menos preciso dos três métodos testados.

5.2 Produção de matéria seca, teor de nitrogênio total e rendimento de nitrogênio

5.2.1 Parte aérea

O efeito da época de adubação sobre PMS-PA (Tabelas 4 e 5), em que as produções de MS do FV superaram aquelas do IO, provavelmente refletiram os fatores ambientais, que se tornam progressivamente mais limitantes ao desenvolvimento do capim com o avançar da estação de crescimento (Van Soest, 1996). Essa hipótese é corroborada pelos dados climáticos inseridos na Figura 2, por onde se depreende que as temperaturas mínimas no IO, inferiores a 15° C, foram inadequadas ao desenvolvimento de capins tropicais, conforme orientam os trabalhos de Rolim (1994) e Jacques (1997). A menor produção de MS da PA no IO também parece explicar o efeito de época sobre a variável NT-PA (Tabelas 7 e 8), visto

que o menor crescimento da forragem concorre para um efeito de concentração de nutrientes no tecido vegetal, o que repercute em maiores teores de nutrientes solúveis na planta, como o N (Minson, 1990; Van Soest, 1994, 1996; Whitehead, 1995).

No IO, os rendimentos de N na PA foram menores do que os observados no FV ($P < 0,01$), representando aproximadamente 57 % dos valores verificados na primeira época (Tabelas 9 e 10). Como o rendimento de N é função da produção de MS da pastagem e do seu teor de N, tem-se que a quantidade de forragem produzida (Tabela 4) foi mais determinante das respostas verificadas em RN-PA, do que a concentração de N (Tabela 7), pois enquanto a quantidade de MS reduziu no IO (Tabela 5), o teor de N aumentou (Tabela 8) neste período.

Robinson (1996), em discussão recente, apontou que a quantidade de forragem produzida é o principal determinante da extração de N na pastagem, pois a faixa de variação neste parâmetro é bem maior do que as oscilações encontradas na concentração de N na planta, para um dado estágio fisiológico. Assim, as produções de capim-elefante reportadas na literatura variam de 10 a 90 Mg MS.ha⁻¹.ano⁻¹, ao passo que os teores de N na forragem, para estádios fisiológicos comumente observados por ocasião da desfolha, encontram-se, geralmente, na faixa de 13 a 25 g N.kg MS⁻¹ (Carvalho, 1985; Faria et al., 1996; Werner et al., 1996; Gomide, 1997a; Nussio et al., 1998). Isso implica em variações da ordem de 9 e 2 vezes para a produção de MS e teor de N na planta, respectivamente.

5.2.2 Sistema radicular e vegetação

A época de adubação não teve efeitos sobre a PMS-SR (Tabela 4), entretanto, notou-se que enquanto no FV a PMS-SR no tratamento TSA representou 79 % da PMS verificada no tratamento TU, no IO o quadro se inverteu, de sorte que a PMS-SR do tratamento TU assinalou 53 % dos valores detectados em TSA. No caso da PMS-PA constatou-se tendência semelhante, isto é, enquanto a PMS-PA para o tratamento TSA no FV representou 94 % dos valores observados em TU, no IO, o tratamento TU equivaleu a 65 % da produção de MS da PA do tratamento TSA (Tabela 4).

Embora esses efeitos não tenham sido significativos ($P > 0,05$), quando analisados individualmente, provavelmente quando vistos em conjunto, eles explicam a significativa (P

< 0,05) interação fonte de N x época de adubação constatada na PMS-VEG (PMS-PA + PMS-SR), onde as parcelas adubadas com U apresentaram menores PMS-VEG ($P < 0,05$) no IO em comparação com o FV (Tabelas 4 e 6).

É interessante notar que a literatura geralmente afirma que sob elevados níveis de adubação nitrogenada, como a que ocorreu na pastagem experimental, era de se esperar uma larga relação PA:SR, possivelmente superior à unidade (Marschner, 1995; Whitehead, 1995). No presente estudo, quando se considerou o componente sistema radicular como sendo o somatório da base das hastas, coroa da planta e raízes mais grossas, verificou-se relações PA:SR no tratamento TU de 0,34 e 0,31 e no tratamento TSA de 0,43 e 0,25, respectivamente para o FV e IO (Tabela 4). Os motivos para esses efeitos terem ocorrido não são claros, mas provavelmente refletiram a comparação de um SR composto por tecidos jovens e velhos, remanescentes de desfolhas anteriores, com uma PA representada na sua grande maioria por tecidos jovens, desenvolvidos quase que exclusivamente a partir do momento dos cortes experimentais de FV e IO. Isso obviamente, pode ter “inflacionado” a relação SR:PA.

Disso tem-se que se os períodos de avaliação no FV e no IO fossem mais longos, possivelmente a relação PA:SR se tornaria mais larga. Assim, em experimentos futuros, seria interessante a avaliação da PMS-PA e PMS-SR atendendo as exigências fisiológicas da planta, isto é, para desfolhas praticadas a 0,40 – 0,45 m de altura, utilizar intervalos entre desfolhas de 40 a 45 dias (Corsi, 1972) e para desfolhas praticadas a 0,15 – 0,30 m do nível do solo, observar intervalos entre desfolhas de 50 a 65 dias (Gomide, 1997a).

Parece oportuno realçar que sob elevados níveis de adubação nitrogenada o intervalo entre desfolhas pode, dentro de certos limites, ser reduzido (para uma mesma altura de corte ou pastejo) sem que haja prejuízos na PMS-PA ou na qualidade da forragem, pois o ritmo de crescimento da planta é incrementado. Na verdade, quando o capim-elefante sob pastejo é adubado com elevados níveis de nitrogênio, provavelmente com doses superiores a 400 – 500 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹, seria sensato se efetuar desfolhas com intervalos inferiores aos 45 dias recomendados, no sentido de se conseguir um melhor compromisso entre produção de MS e qualidade de forragem, conforme se depreende do trabalho de Balsalobre (1996). Nesse estudo, verificou-se que com aplicações de 400 kg N.ha⁻¹.verão⁻¹ e com intervalos entre desfolhas sucessivas de 45 dias ocorreu, aparentemente, uma competição intra-específica

entre as folhas do capim-elefante, que culminaram em baixos teores de N (ao redor de 13 g.kg MS⁻¹) nesse componente da pastagem. Essa argumentação, embora lógica, ainda não conta com suporte experimental, devendo, pois, ser recebida com cautela.

As variáveis NT-SR e NT-VEG não foram afetadas pela época de adubação, provavelmente refletindo a ausência de efeitos de época sobre a PMS-SR e PMS-VEG, que não permitiram a ocorrência de um efeito de concentração de nutrientes (Tabela 4). Os teores de NT-SR, como média de fontes de N e épocas de adubação, estiveram em torno de 9 g.kg MS⁻¹ e, os valores mais baixos registrados para o componente SR, em comparação com a PA, estão de acordo com os trabalhos de Whitehead (1986, 1995). Esse autor, trabalhando com pastagens temperadas, mostrou que as concentrações de N total no SR eram cerca de 75 % dos teores verificados na PA.

A proporcionalidade dos valores sugeridos por Whitehead (1986, 1995) são superiores às observações do presente experimento, onde os teores NT-SR estiveram sempre entre 50 a 60 % do NT-PA (Tabela 7). Esse fato provavelmente pode ser atribuído às diferenças morfo-fisiológicas entre gramíneas temperadas e tropicais (Minson, 1990; Van Soest, 1994). Além disso, em consequência da maior participação do componente SR na pastagem, em comparação com o componente PA, o NT-VEG assinalou valores (11 g.kg MS⁻¹) mais próximos ao NT-SR, do que ao NT-PA.

O RN-SR e o RN-VEG não foram afetados pela época de avaliação, porém, mostraram significativos efeitos ($P < 0,05$) para interação fonte de N x época de adubação (Tabelas 9, 11 e 12). Em ambas as situações, notou-se que as variáveis RN-SR e RN-VEG eram semelhantes ($P > 0,05$) entre os tratamentos TU e TSA no FV e no IO e que o tratamento TSA se comportou de maneira parecida ($P > 0,05$) entre as duas épocas avaliadas. Entretanto, as variáveis RN-SR e RN-VEG nas parcelas adubadas com U foram afetadas pela época de avaliação, situação em que os rendimentos de N nesses componentes foram significativamente ($P < 0,05$) menores no IO, quando comparados ao FV (Tabelas 9, 11 e 12). Esses fatos possivelmente explicam a interação significativa de época x fonte de N nessas variáveis.

5.2.3 Liter

Hillesheim (1987) e Balsalobre (1996), trabalhando na mesma área experimental, apontaram que quando o capim-elefante era pastejado podia-se esperar perdas de pastejo entre 16 e 25 % da MS disponível. Se as afirmações de Whitehead (1995), de que as perdas médias por pastejo superam aquelas por desfolha mecânica em 20 %, puderem ser aplicadas em pastagens tropicais cespitosas, pode-se especular que se os estudos de Hillesheim (1987) e Balsalobre (1996) tivessem contado com desfolhas mecânicas, as perdas resultantes do corte da forragem seriam de 13 a 20 % da MS disponível.

Essas perdas, no entanto, não contabilizam o material vegetal que já se encontrava sobre a superfície do solo. Se esse também fosse contabilizado, seria lógico assumir que as perdas aumentariam, sendo a magnitude desse aumento função do manejo praticado nas desfolhas anteriores (eficiência de colheita), da qualidade do LIT e da época do ano. Isso porque, a meia-vida do liter de pastagens tropicais situa-se entre 99 e 331 dias, sendo os maiores valores encontrados em situações de maior relação carbono (C):N, lignina:N e (lignina + polifenol):N, que geralmente coincidem com o final da estação de crescimento (Thomas & Asakawa, 1993). Nesta época do ano as temperaturas são mais amenas e a incidência de chuvas é menor (Figura 2), ambos fatores limitando a atividade microbiana ligada à decomposição do LIT. Em outras palavras, à medida que a estação de crescimento avança, espera-se que a PMS-LIT seja incrementada para uma dada eficiência de colheita, simplesmente porque o ritmo de decomposição do LIT é menor.

Além disso, o trabalho de Carvalho & Damasceno (1996) mostrou que o processo de senescência em pastagem de capim-elefante cv. Roxo, quando cortada em março, passou a ser representativo a partir da 7ª semana de rebrota, tanto em cortes realizados a 0,50 m de altura, como nos cortes realizados próximos ao nível do solo. Com 10 semanas de rebrota, na média das duas alturas de corte, as folhas senescentes já representavam 21 a 26 % do total de folhas da pastagem.

No presente estudo, verificou-se que a PMS-LIT no IO foi significativamente maior ($P < 0,001$) do que a verificada no FV (Tabelas 4 e 5). No FV a PMS-LIT representou aproximadamente 40 % da PMS-PA, mas, no IO, a PMS-LIT superou a PMS-PA em 2

(TSA) a 3,6 (TU) vezes (Tabela 4), corroborando os dados apresentados por outros autores (Thomas & Asakawa, 1993; Corsi & Martha Júnior, 1998).

Desta forma, o efeito altamente significativo da época sobre a variável PMS-LIT (Tabela 4 e 5) pode, provavelmente, ser atribuído: a) a forragem que cresceu no “pico do período de verão” (janeiro e fevereiro) e entrou em processo de senescência após o término do primeiro período de coleta de dados (FV); e b) ao material que cresceu e entrou em processo de senescência entre o final do corte experimental do FV e o término do experimento do IO. Em adição a esses fatos, é importante salientar que grande parte do LIT presente no experimento do IO foi “produzido” durante o verão, situação em que o metabolismo da planta é bastante intenso e, portanto, há um elevado estímulo à deposição de componentes estruturais e lignina no tecido vegetal (Van Soest, 1994, 1996).

Assim, a maior PMS-LIT verificada no IO, em comparação com o FV, pode ser atribuída ao processo de senescência do capim-elefante, que culminou em maiores quantidades de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e, também, à qualidade desse LIT, que provavelmente era pouco propícia à degradação pelos microorganismos do solo, em virtude das modificações fisiológicas que ocorrem no tecido vegetal em estágios avançados de maturidade, como a lignificação.

Merece destaque também, o fato do NT-LIT ter sido numericamente superior ao NT-SR (Tabela 7), que representou 76 % do NT-LIT. Conforme comentado anteriormente, o maior teor de N no liter pode ser benéfico à dinâmica do N no sistema, no sentido de permitir a mineralização mais rápida do substrato, uma vez que, nesta situação, tende a mostrar menores relações C:N (Whitehead, 1995; Sá, 1996).

Por outro lado, o maior teor de N no LIT pode ter efeitos negativos sobre o balanço de N em ecossistemas de pastagens, pois alguns autores têm apontado que se o N contido no liter for elevado, parte desse nutriente poderá se perder para a atmosfera na forma de NH_3 (Whitehead et al., 1988; Whitehead & Lockyer, 1989). Não obstante, o teor de N que parece viabilizar a perda de N para a atmosfera situa-se ao redor de 10 g N.kg MS⁻¹ (Whitehead et al., 1988), o que permite inferir que as perdas de NH_3 por volatilização a partir de tecidos vegetais em decomposição de pastagens tropicais seriam mínimas ou nulas, visto que nestas pastagens a concentração de N no LIT encontra-se próxima a esse nível (Tabela 7) ou abaixo (Thomas & Asakawa, 1993).

O efeito de época sobre a variável RN-LIT (Tabela 10) pode ser atribuído ao incremento significativo da PMS-LIT no IO (Tabelas 4 e 5), em comparação ao FV, visto que o teor de N nesse componente não variou nos dois períodos experimentais (Tabela 7). Esse fato parece ser consequência da elevada demanda por N pelos microorganismos do solo, objetivando a decomposição do material morto da pastagem, conforme indicado por Corsi (1993).

Válido de menção é o fato de que o acúmulo de LIT no final da estação de crescimento pode trazer algumas desvantagens ao sistema, notoriamente sobre o início da estação de pastejo subsequente, onde a rebrota futura da pastagem e/ou eficiência das adubações nitrogenadas, quando feitas a lanço e em cobertura, podem ser comprometidas (Corsi, 1993; Corsi & Martha Júnior, 1997). O acúmulo excessivo de material morto pode sombrear a base das touceiras, reduzindo, consequentemente, o perfilhamento basal no início da estação de crescimento, o que afeta a produção de MS e, subsequentemente, a lotação animal (Corsi, 1993).

Ressalta-se, porém, que os experimentos avaliando a composição química do LIT de pastagens tropicais, bem como as suas taxas de decomposição em diferentes condições (como por exemplo diferentes resíduos pós-desfolha) e/ou época do ano são escassos (Thomas & Asakawa, 1993; Wedin, 1996). Mais estudos nesses tópicos seriam de interesse, pois permitiriam uma melhor previsão da disponibilização dos nutrientes contidos no LIT e, portanto, teriam potencial para incrementar as recomendações de adubação nitrogenada. Além disso, o conhecimento da velocidade com que os resíduos vegetais de pastagens tropicais são degradados teriam importância capital no manejo desses capins, uma vez que indicariam as épocas mais críticas para a rebrota do pasto (sombreamento da base das touceiras).

5.2.4 Fonte de nitrogênio

Os resultados obtidos nos experimentos do FV e do IO não indicaram efeito da fonte de N sobre nenhuma das variáveis medidas (Tabelas 4, 7 e 9). Esse fato corrobora o resultado de alguns estudos que também não encontraram vantagens comparativas entre a U e o SA (Vicente-Chandler & Figarella, 1962; Werner et al., 1968). Por outro lado, outros

experimentos atestaram que a U era uma fonte nitrogenada menos eficiente do que as formas amoniacais (Whitehead, 1995; Paulino et al., 1995; Bussink & Oenema, 1997). Assim, verifica-se uma certa inconsistência na literatura à cerca dos efeitos das fontes de N sobre a produção de forragem e/ou sua concentração de N, o que permite sugerir que outros fatores, que não o próprio adubo nitrogenado, estão interferindo na resposta do capim.

Um desses fatores pode ser a recaptura da amônia volatilizando da superfície do solo pelas plantas (Harper et al, 1983a;b; Denmead et al., 1993; Fangmeir et al., 1994; Holtan-Hartwig & Bockman, 1994; Harper & Sharpe, 1995). Esse efeito tende a ser mais expressivo nas adubações com U, em função desse fertilizante provocar maiores picos de NH_3 na atmosfera (maiores perdas desse gás por volatilização). Entretanto, os resultados dos experimentos que aferiram a recaptura de NH_3 pela cobertura vegetal mostraram recuperações correspondentes a 5 – 10 % do N total no tecido vegetal (Hutchinson et al., 1972; Whitehead, 1995; Bussink et al., 1996), sinalizando que embora essa via de acréscimo de N ao sistema exista, ela provavelmente terá um efeito limitado sobre a produção forrageira.

O outro fator que pode explicar a ausência de efeitos das fontes nitrogenadas sobre a produção das pastagens ou a sua concentração de N, é a mineralização do N-orgânico do solo, que poderia funcionar como um mecanismo tampão do ecossistema (Jansson & Persson, 1982; Pilbeam & Warren, 1995; Barraclough, 1991; Geens et al., 1991; Ledgard et al., 1998). Entretanto, a ausência de efeitos ($P > 0,05$) da fonte de N sobre as variáveis NT-S1 e NT-S2, permite sugerir que o comportamento/dinâmica de extração do N do solo foi semelhante na presença de U e SA.

Por outro lado, as significativas ($P < 0,05$) reduções nas concentrações de NT-S1 e NT-S2 no IO, em comparação ao FV, parecem indicar que essa reserva de N foi extensivamente utilizada pelo capim-elefante, corroborando as informações de que as pastagens de gramíneas possuem uma elevada capacidade de extração do N disponível no solo (Corsi & Nussio, 1993; Russelle, 1996, 1997; Corsi & Martha Júnior, 1997).

A contribuição da MOS sobre a produção vegetal encontra suporte em vários estudos (Ball & Ryden, 1984; Hatch et al., 1990; Pilbeam & Warren, 1995), assim como a ausência de efeitos do manejo corrente da adubação nitrogenada sobre a quantidade de N-mineral sendo disponibilizada a partir da MOS (Hassink, 1992; Gill et al., 1995). Em outras palavras,

parece que o manejo prévio da pastagem é o fator mais decisivo sobre a quantidade de N sendo mineralizado a partir da MOS (Hassink, 1992; Gill et al., 1995) e, portanto, sobre a sua ação tampão no sistema. Plantas forrageiras manejadas sob pastejo, por longa data, apresentam maiores taxas de mineralização da MOS do que aquelas sendo desfolhadas mecanicamente (Hatch et al., 1990; Hassink, 1992; Gill et al., 1995).

Disso tem-se que, provavelmente, o solo experimental (Tabela 2) funcionou como um agente tampão da produção de MS e teor de N na forragem, conforme indicado pelo manejo da pastagem, isto é, manejada prioritariamente sob pastejo e recebendo elevadas quantidades de adubos nitrogenados, situações estas, que vêm sendo sustentadas por um longo período de tempo. Nesse escopo, a inclusão de um tratamento testemunha, que não recebesse adubação com N, teria sido fundamental para responder essas questões. No curto prazo, como o verificado nesse experimento, é possível que esse tratamento testemunha tivesse produzido uma quantidade de MS semelhante ou ligeiramente inferior às parcelas adubadas com N, conforme indicado por Humphreys (1991).

Além disso, os períodos avaliados (FV e IO) podem não ter tido duração suficiente para favorecer uma das duas fontes de N. Nesse contexto, a ausência de efeitos da fonte do fertilizante nitrogenado sobre as variáveis PMS-PA, NT-PA e RN-PA (Tabelas 4, 7 e 9), indica que pelo menos a curto prazo, a U e o SA seriam igualmente efetivas em sustentar o desempenho e a produtividade animal.

Em contrapartida, as significativas interações observadas para fonte do adubo nitrogenado x época de aplicação para as variáveis PMS-VEG, RN-SR e RN-VEG, parecem dar suporte a idéia de que as adubações com diferentes fontes de N devem ser estudadas por períodos experimentais mais longos que os praticados no presente estudo, uma vez que as interações fonte de N x época de adubação para as variáveis PMS-VEG, RN-SR e RN-VEG, indicaram melhores resultados para a adubação com U no FV, em comparação com a aplicação desse adubo no IO. A partir dos resultados apresentados por Paulino et al. (1995), chega-se a conclusões semelhantes.

É interessante notar também, que Corsi & Martha Júnior (1997), num exercício de simulação, encontraram que para situações comuns do cotidiano das propriedades pecuárias, para cada 1000 kg de LIT sobre a superfície do solo, aproximadamente 15 kg de N seriam necessários para promover a decomposição desse material. Assim, apesar dos tratamentos

TU e TSA não terem diferido quanto a PMS-LIT em nenhuma das duas épocas avaliadas, verificou-se que o tratamento TU, no IO, apresentou uma PMS-LIT que superou à verificada no tratamento TSA em 1288 kg.ha⁻¹ (Tabela 4). Embora esse fato não tenha tido significância estatística, ele possivelmente terá implicações biológicas, no sentido de que a rebrota futura da pastagem poderá ser afetada pela maior quantidade de material morto verificado nas parcelas adubadas com U, quer seja pela maior imobilização de nutrientes, ou pelo sombreamento de novos pontos de crescimento.

5.3 Balanço de ¹⁵N

Em relação aos estudos com forrageiras tropicais encontrados na literatura, constatou-se que nos experimentos do FV e do IO houve, aparentemente, uma mudança nas proporções com que o N marcado foi alocado no sistema SP. Enquanto no presente estudo os valores obtidos para %R-PA e %R-VEG (Tabela 13) equivaleram a aproximadamente 65 a 75 % das recuperações de ¹⁵N encontradas em pastagens tropicais, os valores registrados para o componente solo reportados na literatura são, geralmente, 70 % inferiores aos verificados nos experimentos de FV e IO (Tabela 1). Já os resultados de %R-SR e %R-SP encontrados no FV e no IO (Tabela 13) estão de acordo com a faixa verificada nos diversos estudos em ambiente tropical (Tabela 1).

Esses fatos podem sinalizar a maior proporção de N não marcado (N do solo) presente no ecossistema que, portanto, foi absorvido proporcionalmente em maiores quantidades do que o ¹⁵N. Por outro lado, esses fatos podem indicar que a pastagem experimental não teve condições apropriadas para absorver o ¹⁵N do solo e alocá-lo para planta e que períodos de rebrota mais prolongados repercutiriam em maiores valores de recuperação de fertilizante ¹⁵N no componente PA.

As proporções de ¹⁵N (Tabela 13) em relação ao RN (Tabela 9) na PA, obtida pela equação 6 para os períodos do FV (menor período de avaliação) e do IO (maior período de avaliação), parecem dar suporte a essa suposição. Nesse caso, notou-se que os incrementos observados na participação do N proveniente do fertilizante na PA no IO superaram os valores do FV em 9,4 e 3,5 unidades percentuais, respectivamente para o tratamento TU e para o tratamento TSA. A mesma tendência do N proveniente do fertilizante compor uma

maior proporção do RN da pastagem no IO foi observada para os componentes SR e VEG, quando os respectivos valores foram substituídos na equação 6. De maneira semelhante à PA, os incrementos no TU foram maiores que os verificados em TSA.

$$\%R-PA/RN-PA = [(\%R-PA/100) \times QNAV/RN-PA] \times 100 \quad (6), \text{ onde}$$

QNAV é a quantidade de N aplicada na AV, que é igual a 44 % da superfície da pastagem.

Por outro lado, a rápida absorção do fertilizante marcado constatada na PA de pastagens temperadas (Ledgard et al., 1998) sugere cautela nessa afirmação, no sentido de indicar que a maior parte do N oriundo do fertilizante a ser absorvida pela planta, é verificada nos primeiros dias após a adubação. Assim, embora não se descarte a hipótese de que com um maior período de rebrota mais ^{15}N fosse alocado para a PA, é provável que essas quantidades fossem limitadas, dificilmente igualando-se aos valores (Tabela 1) encontrados em outros estudos com pastagens tropicais.

Uma outra explicação para a menor recuperação do elemento na PA, parece estar ligada com a fisiologia da planta, mais especificamente com o perfilhamento da gramínea. Os perfilhos são importantes drenos metabólicos em pastagens (Davies, 1988; Hodgson, 1990; Gomide, 1997b) e, desta forma, quanto maior o perfilhamento maior será a capacidade do dossel absorver N. Neste contexto, tem-se demonstrado que os perfilhos que contribuem efetivamente para a produção de gramíneas tropicais são emitidos nos primeiros 8 dias após a desfolha, o que indicaria a necessidade de se aplicar o N logo após o corte, no sentido de se incrementar a absorção de N e, conseqüentemente, a produção de MS (Corsi, 1984).

Nos experimentos do FV e do IO a adubação nitrogenada não foi efetuada logo após a desfolha e, assim, existe a possibilidade da capacidade de aproveitamento do N proveniente do fertilizante ter sido prejudicada por uma provável redução no perfilhamento da gramínea. Atrelado a esse fato, pode ser que no momento em que as regiões de crescimento (perfilhamento e crescimento do SR) do capim mais necessitaram do nutriente, só havia aquele N sendo mineralizado a partir da MOS. Como resultado, grande parte do elemento absorvido pela planta estava na forma não marcada, o que pode ter sido mais um fator contribuindo para a baixa recuperação de ^{15}N nos tecidos do capim-elefante.

Os dados inseridos na Tabela 13 revelam que não apenas a absorção de ^{15}N pela PA do capim foi baixa mas, também, que a fonte de N teve efeito significativo ($P < 0,05$) sobre a variável %R-PA. Nesse caso, o N proveniente do SA foi melhor recuperado no componente PA, em relação ao N advindo da U (Tabela 14), sinalizando, possivelmente, uma maior disponibilidade de SA no sistema solo-planta. Embora não significativa, verificou-se uma tendência ($P = 0,0520$) de haver uma interação fonte de N x época de adubação sobre a variável %R-SP. A análise detalhada dessa interação, revelou semelhança ($P > 0,05$) entre a %R-SP para o tratamento TSA no FV e no IO e para o tratamento TU no FV e no IO. No FV os tratamentos TSA e TU foram iguais em termos de %R-SP ($P > 0,05$), porém, no IO, as parcelas adubadas com SA apresentaram maiores recuperações de ^{15}N no sistema SP ($P < 0,001$), do que aquelas adubadas com U. Esse fato possivelmente contribuiu para uma maior disponibilidade de N proveniente do SA no sistema e, em associação com a menor volatilização de amônia na ANV registrada para o tratamento SAM na média do FV e IO (Tabela 16), parece suportar a idéia de que mais N marcado foi recuperado na PA do tratamento TSA, simplesmente porque uma maior quantidade de N proveniente dessa fonte de fertilizante encontrava-se na pastagem.

Os efeitos significativos de época sobre as variáveis %R-LIT (Tabelas 13 e 15), indicaram que mais N proveniente do fertilizante ficou retido neste componente no IO, em comparação ao FV, sendo tal efeito consistente com a maior PMS-LIT observada nesse mesmo período (Tabela 4). Assim, à medida que uma maior quantidade de massa precisa ser decomposta, tem-se um aumento na demanda por N pelos microorganismos do solo e, esse fato, tem sido muitas vezes relacionado com uma maior imobilização do N proveniente do fertilizante no componente LIT do ecossistema de pastagens (Corsi, 1993; Corsi & Martha Júnior, 1997; item 5.2.3 e 5.2.4).

Em relação ao comportamento do fertilizante marcado no componente solo, não se verificou efeito da fonte de N, da época de adubação, ou da interação desses dois fatores, o que revela a semelhança de comportamento entre as duas fontes estudadas. Entretanto, é interessante notar que os valores de ^{15}N recuperados no componente S foram sempre numericamente superiores aos valores observados na %R-PA. Essa constatação salienta a importância de mais estudos à cerca do destino do N presente no componente solo da pastagem.

Os valores recuperados em S2 (%R-S2), que podem ser tomados como uma indicação grosseira da lixiviação de N no solo, revelaram que apenas uma pequena porção do ^{15}N , sempre inferior a 5 %, foi recuperada na camada de 0,10 a 0,25 m do solo. Esses números sinalizam que, provavelmente, a lixiviação do fertilizante aplicado na pastagem é mínima, corroborando as informações apresentadas por outros autores (Ball & Ryden, 1984; Russelle, 1996) e refletindo, provavelmente, a elevada capacidade das plantas forrageiras extraírem o N do solo (Corsi & Martha Júnior, 1997; Russelle, 1997).

5.4 Volatilização de amônia

Em relação aos tratamentos U1, U2 e SAM, verificou-se que grande parte do adubo aplicado sobre os resíduos vegetais da pastagem (ANV) foi perdida para a atmosfera na forma de NH_3 , sendo esse efeito mais pronunciado no FV do que no IO (Tabelas 16 e 17). Em termos de porcentagem perdida em relação ao total aplicado, as perdas para U1 e U2 no FV foram de 80,6 e 58,5 % e, no IO, foram de 15,2 e 12,9 %, respectivamente. Essa magnitude de perda é consistente com a literatura (Vitti et al., 1984; Whitehead & Raistrick, 1990; Whitehead, 1995) e possivelmente é explicada pelas altas temperaturas registradas no período de verão (Figura 1), pela presença do LIT, que propicia elevada atividade da urease e tem baixa capacidade de retenção de NH_3 e pela característica de elevação do pH na região de dissolução do grânulo de uréia (Torello & Wehener, 1983; Haynes & Sherlock; Black et al., 1985; Freney et al., 1991; Whitehead, 1995).

Outros autores (Hargrove et al., 1977; Hargrove & Kissel, 1979; Stumpe et al., 1984) também encontraram que nem sempre as maiores doses de U estão associadas com um maior percentual de perda em relação ao total de N aplicado. Isso porque o padrão de perda do N por volatilização pode ser linear ou exponencial, de sorte que pode diminuir, manter-se constante ou aumentar com os incrementos na dose do adubo (Hargrove, 1988).

No tratamento SAM as perdas de NH_3 por volatilização, como porcentagem do total de N aplicado, foram de 21,4 e 16,6 % no FV e no IO, respectivamente. É interessante notar que, no IO, os percentuais de perda de NH_3 foram numericamente maiores no tratamento SAM, do que nos tratamentos U1 e U2. Esse comportamento não era esperado, uma vez que as elevadas perdas em decorrência do uso de SA estão associadas com solos alcalinos

(Urquiaga et al., 1989; Whitehead & Raistrick, 1990), que não é o caso do presente experimento (Tabela 2).

Assim, com base nos resultados obtidos (Tabelas 16 e 17), pode-se inferir que na presença do LIT as perdas de NH_3 resultantes da aplicação superficial e a lanço do SA podem ser representativas. Esse fato pode ser o reflexo de uma possível alcalinidade dos resíduos orgânicos sobre a superfície do solo (Harper et al., 1983a,b) e/ou de condições de alcalinidade geradas pela decomposição desse material (Mattiazzo & Gloria, 1985; Silva et al., 1999).

O efeito significativo de época para o tratamento SAM (maiores perdas no FV) poderia, então, ser explicado pela maior temperatura no FV (Figura 1), que não só atuou positivamente sobre o processo de volatilização de NH_3 , mas também possibilitou a degradação mais rápida do LIT, culminando, possivelmente, com maiores picos de alcalinidade no sistema. Essas considerações, no entanto, devem ser encaradas com cautela, haja vista a inexistência de suporte experimental para condições semelhantes à desse estudo.

No FV, as perdas associadas com o uso de U foram significativamente ($P < 0,001$) mais elevadas do que os valores registrados nas parcelas adubadas com SA, o mesmo não acontecendo no IO ($P > 0,05$) (Tabelas 16 e 17). A explicação mais provável para esses efeitos é a elevada temperatura observada no FV (Figura 1), que incrementou as taxas de reações químicas e bioquímicas do sistema SP. Pode-se sugerir que o efeito da temperatura elevada foi mais atuante nos tratamentos com U, que dependem da atividade da urease para o estabelecimento do processo de hidrólise (Sherlock & Haynes, 1986; Whitehead, 1995).

Além disso, nas condições de verão, verificou-se elevadas taxas de perda de NH_3 (Tabelas 18 e 19) nos primeiros daa, sendo esses valores diminuídos conforme o tempo após a aplicação do N aumentava (Figuras 8, 9 e 10 e Tabelas 18, 19 e 20). Esses efeitos, que foram mais expressivos para os tratamentos U1 e U2, parecem explicar os baixos coeficientes de regressão obtidos no FV para U1 e U2 e, em menor magnitude para SAM. Isso porque, na primeira avaliação de volatilização de NH_3 no FV, aos 2,7 daa, quase que a totalidade das perdas de NH_3 (VacT) nos tratamentos U1 e U2 já haviam se estabelecido (Figuras 8 e 9) e, portanto, as equações de regressão não eram mais capazes de explicar os valores de VacT (Tabela 20).

Assim, em avaliações futuras, realizadas em períodos propícios às perdas de NH_3 por volatilização (verão), é recomendado que a primeira tomada de medida seja feita logo após a aplicação do fertilizante. Bons coeficientes de regressão foram obtidos quando a primeira aferição da volatilização de NH_3 foi efetuada aos 1,8 daa no IO (Figuras 8, 9 e 10). Entretanto, uma vez que nesse período as perdas (Tabela 16) e/ou as taxas de perdas (Tabelas 18 e 19) são sensivelmente menores que no FV (Tabelas 16 e 17), seria aconselhável que nas situações mais favoráveis à volatilização de NH_3 , a primeira tomada de medida fosse feita num período inferior a 1,8 daa. Essa rapidez na primeira avaliação parece ser mais importante nas adubações com U (Figuras 8 e 9), do que nas adubações com SAM (Figura 10).

Em termos práticos, as Figuras 8 e 9 indicam que no FV, qualquer medida para minimizar as perdas de NH_3 por volatilização, quando da adubação com U, devem ser praticadas imediatamente após a adubação. No caso do uso do SA no FV, esse período poderia ser maior, porém, não superior a uma semana da adubação (Figura 10). Nas fertilizações praticadas no IO, o tempo decorrido para que as perdas atinjam um platô é de aproximadamente 2 semanas, não apresentando grandes diferenças em função da fonte de N utilizada (Figuras 8, 9 e 10 e Tabelas 18 e 19).

Embora as perdas de NH_3 por volatilização no IO sejam de magnitude inferior ($P < 0,001$) às verificadas no FV (Tabelas 16 e 17), não parece aconselhável a prática de adubação nitrogenada nessa época, tendo em vista as baixas PMS-PA (Tabela 4) observadas nesse período. Assim considerando-se o FV e o IO, parece mais sensato efetuar as adubações no FV que, mesmo contando com elevados níveis de perda de NH_3 por volatilização, possibilitam maiores ($P < 0,05$) PMS-PA (Tabelas 4 e 5).

Torna-se necessário notar também, que os “coletores branco” instalados na área experimental corrigiram apenas a volatilização de NH_3 do material absorvedor (espuma), mas não contabilizaram a volatilização que naturalmente ocorreu a partir dos resíduos orgânicos sobre a superfície do solo e/ou do próprio solo. Desta forma, os valores de VacT registradas nesse estudo não podem ser atribuídos exclusivamente aos fertilizantes nitrogenados, uma vez que não houve utilização de fertilizante ^{15}N nos experimentos de volatilização de NH_3 e/ou correção para a volatilização de NH_3 nas porções não adubadas do

pasto. A utilização de qualquer uma dessas duas medidas melhoraria sensivelmente a qualidade dos resultados através desses sistemas coletores de NH_3 .

5.5 Perdas totais de nitrogênio da pastagem

A ponderação dos resultados obtidos para o balanço de ^{15}N na AV da pastagem, com aqueles de volatilização de NH_3 observados na ANV, permitem acessar as perdas totais de N do sistema para as adubações com $100 \text{ kg N.ha}^{-1} \cdot \text{época}^{-1}$ na forma de U ou SA. As perdas decorrentes do uso de U (TU) representaram $19,5$ e $21,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ AV e do uso de SA (TSA) corresponderam a $13,4$ e $8,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ AV, respectivamente no FV e no IO. Quando esses valores são somados aos apresentados na Tabela 16, tem-se as perdas totais de N da pastagem. Assim, as perdas totais de U (TU + U1) foram $64,7 \text{ kg N.ha}^{-1}$ no FV e $29,8 \text{ kg N.ha}^{-1}$ no IO, enquanto que, as perdas totais de SA (TSA + SAM) foram de $25,4 \text{ kg N.ha}^{-1}$ no FV e $17,9 \text{ kg N.ha}^{-1}$ no IO.

Desta forma, as perdas de N medidas neste experimento, como porcentagem do adubo aplicado, foram de 65 e 30 % para as adubações com U e de 25 e 18 % para as adubações com SA, respectivamente para o FV e IO.

Embora esses números devam ser encarados com cautela (não se determinou na ANV da pastagem a perda devida exclusivamente ao fertilizante), eles demonstram claramente que o SA foi a fonte de N associada com os menores níveis de perda, fato que, no entanto, não foi suficiente para promover maior produção de MS (Tabela 4) ou maior teor de N na forragem (Tabela 7) nas parcelas adubadas com SA, quando comparadas com as parcelas adubadas com U.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que todos os métodos utilizados para a avaliação da área basal da pastagem de capim-elefante foram de execução fácil e rápida e, portanto, a escolha de um deles irá depender da disponibilidade de recursos no momento da avaliação. Outras possíveis aplicações destes métodos seriam no acompanhamento da evolução da cobertura foliar e da infestação de plantas invasoras em pastagens.

A produção de matéria seca da parte aérea do capim, que representa a porção do pasto que é efetivamente utilizada pelos animais, foi significativamente maior no FV, em comparação com o IO, e não houve diferenças neste parâmetro quanto a fonte de nitrogênio utilizada. Esse efeito provavelmente explica os maiores teores de nitrogênio verificados no tecido vegetal no início do outono (“efeito de concentração de nutrientes”), em relação ao final do verão. Nesse caso, também não se detectou efeito da fonte de nitrogênio.

Por outro lado, a quantidade de matéria seca encontrada na vegetação, que representa o somatório dos componentes parte aérea e sistema radicular, foi significativamente afetada pela interação época de adubação x fonte de nitrogênio. A análise detalhada dessa interação mostrou que tanto no FV, como no IO, as fontes de N não diferiram em termos de produção de matéria seca da vegetação, porém, as parcelas adubadas com uréia no IO demonstraram desempenho significativamente inferior às parcelas adubadas com uréia no final do verão, o mesmo não sendo constatado nas adubações com sulfato de amônio. O mesmo fato parece explicar o significativo efeito da interação época de adubação x fonte de nitrogênio para o rendimento de nitrogênio na vegetação.

O componente sistema radicular teve papel de destaque na pastagem, sendo, em produção de matéria seca, superior a parte aérea em 2,6 (final do verão) a 3,6 (início do outono) vezes. As avaliações relativas ao sistema radicular não indicaram efeitos de época,

fonte do adubo, ou da interação época de adubação x fonte de nitrogênio. Embora no presente estudo o sistema radicular tenha sido composto pela base das hastes, coroa e raízes mais grossas das plantas, a participação desse componente na vegetação foi evidenciada, o que permite sugerir que em experimentos futuros maiores atenções lhe sejam dadas. As mesmas explicações dadas para o rendimento de nitrogênio da vegetação parecem justificar o efeito significativo da interação fonte de nitrogênio x época de adubação sobre a variável rendimento de nitrogênio do sistema radicular.

A produção de matéria seca do liter foi significativamente maior no início do outono, quando comparada ao final do verão, não havendo diferenças quanto a fonte de N utilizada. No início do outono, entretanto, verificou-se que as parcelas adubadas com uréia apresentaram 1,3 Mg de matéria seca.ha⁻¹ a mais do que as parcelas que receberam aplicações com sulfato de amônio. Apesar dessa diferença não ter sido estatisticamente diferente, ela pode ter implicações biológicas, no sentido de afetar a rebrota futura do capim adubado com uréia, quer seja pela imobilização do nitrogênio disponível no sistema ou pelo sombreamento da base das touceiras. Por outro lado, a médio - longo prazo, essa maior quantidade de liter nos tratamentos com uréia, após a sua decomposição, tenderá a colocar mais nitrogênio no sistema, o que pode ser mais um fator explicando a ausência de efeitos de fontes de nitrogênio sobre a produção das pastagens.

Quanto a recuperação do fertilizante ¹⁵N na área vegetada da pastagem (% do aplicado), verificou-se que os únicos efeitos significativos foram para fonte de nitrogênio no caso da parte aérea e para época de adubação no caso do liter. Assim, constatou-se que apenas 4 % do fertilizante nitrogenado ficou retido no liter no final do verão, mas que 10 % do adubo ficou imobilizado no liter no início do outono. Esse efeito é consistente com os dados de produção de matéria do liter, no sentido de demonstrar que maiores quantidades de resíduos vegetais sobre a superfície da pastagem imobilizam mais nitrogênio proveniente do fertilizante.

Quanto ao efeito significativo da fonte de nitrogênio sobre a recuperação do adubo marcado na parte aérea, observou-se que o nitrogênio advindo do sulfato de amônio foi melhor recuperado nesse componente do que o nitrogênio oriundo da uréia (24,3 e 19,7 %, respectivamente). Esse fato possivelmente refletiu a tendência do nitrogênio do sulfato de amônio ser melhor recuperado no sistema solo-planta, quando comparado ao nitrogênio da

uréia. Em outras palavras, a maior recuperação do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio na parte aérea do capim-elefante, em relação ao nitrogênio da uréia, provavelmente foi consequência da maior disponibilidade do nitrogênio do sulfato de amônio no sistema.

Os valores de recuperação do nitrogênio marcado na parte aérea estão abaixo das grandezas reportadas para esse tipo de estudo em pastagens tropicais e, aparentemente, são consequência das épocas de adubação em relação ao momento do corte da forragem, que superaram uma semana, e da elevada fertilidade do solo experimental.

No tocante à volatilização de amônia na área não vegetada da pastagem, observou-se que as perdas foram significativamente mais elevadas no final do verão, em comparação com o início do outono e, esse efeito, pode ser atribuído às temperaturas mais elevadas verificadas no período de verão. Para o final do verão, as perdas de amônia por volatilização nas duas doses de uréia estudadas (100 e 136 kg N.ha⁻¹) não diferiram, porém, foram significativamente maiores do que os valores registrados nas adubações com sulfato de amônio (100 kg N.ha⁻¹). Por outro lado, no início do outono, verificou-se maiores perdas para a maior dose de uréia, em relação à menor dose desse adubo, enquanto que as perdas observadas para as adubações com sulfato de amônio não diferiram em relação a nenhuma das duas doses de uréia estudadas.

Embora as perdas de amônia por volatilização no início do outono tenham sido inferiores às constatadas no final do verão, as baixas produções de matéria seca observadas no fim da estação de crescimento da forragem permitem recomendar que as aplicações com nitrogênio, quando feitas com uréia ou sulfato de amônio, sejam efetuadas no final do verão e não no início do outono. Entretanto, a rápida taxa de perda de amônia por volatilização no final do verão, principalmente, nas adubações com uréia, sinaliza que medidas visando reduzir essa forma de perda do sistema devem ser tomadas o mais rápido possível após a aplicação do adubo.

Considerando-se as perdas obtidas pelo estudo de balanço de ¹⁵N e de volatilização de amônia, verificou-se que o sulfato de amônio foi mais eficiente do que a uréia. Esse fato, no entanto, não foi refletido na eficiência agronômica dos fertilizantes, de sorte que para as adubações com uréia ou sulfato de amônio, no final do verão ou no início do outono, a escolha de um desses fertilizantes deve ficar vinculada a disponibilidade do adubo e aos custos envolvidos com a sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, J.T.; TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, v.4, p.49-55, 1976.
- AVNIMELECH, Y.; LAHER, M. Ammonia volatilization from soils: equilibrium considerations. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.1080-1084, 1977.
- BALL, P.R.; RYDEN, J.C. Nitrogen relationships in intensively managed temperate grasslands. **Plant and Soil**, v.76, p.23-33, 1984.
- BALSALOBRE, M.A.A. Desempenho de vacas em lactação sob pastejo rotacionado de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). Piracicaba, 1996. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BARRACLOUGH, D. The use of mean pool abundances to interpret ^{15}N tracer experiments. 1. Theory. **Plant and Soil**, v.131, p.89-96, 1991.
- BARRIE, A. New methodologies in stable isotope analysis. In: INTERNATIONAL ATOMIC AND ENERGY AGENCY. **Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies**. Viena, 1991. p.3-25.
- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R.; SMITH, N.P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilisation from urea applied to soil of varying moisture content. **Journal of Soil Science**, v.38, p.679-688, 1987.
- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R.; SMITH, N.P. et al. Effects of form of nitrogen, season, and urea application rate on ammonia volatilisation from pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.28, p.469-474, 1985.

- BOWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from urea-fertilized soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.376-381, 1985.
- BUSSINK, D.W.; OENEMA, O. Rainfall and temperature effects on nitrogen losses from fertilizer types on grassland in the Netherlands and the UK. In: JARVIS, S.C.; PAIN, B.F. (Ed.). **Gaseous nitrogen emissions from grasslands**. Wallingford: CAB International, 1997. p.55-61.
- BUSSINK, D.W.; HARPER, L.A.; CORRÉ, W. J. Ammonia transport in a temperate grassland: II. Diurnal fluctuations in response to weather and management conditions. **Agronomy Journal**, v.88, p.621-626, 1996.
- CARVALHO, D.D. de; DAMASCENO, J.C. Aspectos fisiológicos do capim-elefante cv. Roxo de Botucatu. I. Taxa de aparecimento, expansão e senescência de folhas. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., Fortaleza, 1996. **Anais**. Fortaleza: SBZ, 1996, v.2, p.4-6.
- CARVALHO, L. de A. ***Pennisetum purpureum*, Schumacher**: revisão. Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1985. 86p. (Boletim de Pesquisa, 10).
- CATCHPOOLE, V. R. Pathways for losses of fertilizer nitrogen from a Rhodes grass pasture in south-eastern Queensland. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.26, p.259-268, 1975.
- CATCHPOOLE, V.R.; OXENHAM, D.J.; HARPER, L.A. Transformation and recovery of urea applied to a grass pasture in south-eastern Queensland. **Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry**, v.23, p.80-86, 1983.
- CORSI, M. Estudo da produtividade e do valor nutritivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), variedade Napier, submetido a diferentes frequências e alturas de corte. Piracicaba, 1972. 139p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- CORSI, M. Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum*, Jacq. Wooster. Ames, 1984. 125p. Thesis (Ph.D) - Ohio State University.
- CORSI, M. Manejo do capim-elefante sob pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 10., Piracicaba, 1992. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.143-167.
- CORSI, M. Uréia como fertilizante na produção de forragem. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (Ed.) **Uréia fertilizante**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.239-267.
- CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.161-192.
- CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Manejo de pastagens para produção de carne e leite. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.55-83.
- CORSI, M.; NUSSIO, L.G. Manejo do capim-elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.87-115.
- CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; ALVIM, M.J. et al. Altura da planta e cobertura do solo como estimadores da produção de forragem em pastagem de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, p.676-680, 1998.
- DAVIES, A. The regrowth of grass swards. In: JONES, M.B; LAZENBY, A. (Ed.) **The grass crop: the physiological basis of production**. London: Chapman & Hall, 1988. p.85-127.
- DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; JACKSON, A.V. Volatilization of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to sugarcane trash in north Queensland. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., Jounsville, 1990. **Proceedings**. Jounsville: Watson Ferguson, 1993. p.72-78.

- DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; DUNIN, F.X. et al. Effect of canopy development on ammonia uptake and loss from sugarcane fields fertilized with urea. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., Cairns, 1993. **Proceedings**. Cairns: Watson Ferguson, 1993. p.25-30.
- ERNST, J.W.; MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.24, p.87-90, 1960.
- ESALQ, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, Departamento de Física e Meteorologia. **Dados climático**. <http://www.esalq.usp.br>. (12 de novembro 1998).
- FANGMEIER, A.; HADWINGER-FANGMEIER, A.; VAN der EERDEN, L. et al. Effects of atmospheric ammonia on vegetation: a review. **Environmental Pollution**, v.86, p.43-82, 1994.
- FAO FERTILIZER YEARBOOK - 1996. Rome: FAO, v.46, 1997. 122p.
- FARIA, V.P. de Evolução no uso de capim-elefante: uma visão histórica. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 10., Piracicaba, 1992. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.19-45.
- FARIA, V.P. de; SILVA, S.C. da; CORSI, M. Potencial e perspectivas do pastejo em capim-elefante. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. DE; FARIA, V.P. de. (Ed.). **Pastagem de capim-elefante: utilização intensiva**. Piracicaba: FEALQ, 1996. p.7-27.
- FENN, L.B.; HOSSNER, L.R. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizers. **Advances in Soil Science**, v.1, p.123-169, 1985.
- FERRARIS, R.; MAHONY, M.J.; WOOD, J. T. Effect of temperature and solar radiation on the development of dry matter and attributes of elephantgrass (*Pennisetum purpureum*, Schum.). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.37, p.621-632, 1986.

- FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R.; DENMEAD, O.T. Volatilization of ammonia. In: FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R. (Ed.). **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems**. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1983. p.1-32.
- FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W. et al. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, v.31, p.341-349, 1991.
- GASSER, J.K.R. Some factors affecting the losses of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to soils. **Journal of Soil Science**, v.15, p.258-272, 1964.
- GEENS, E.L.; DAVIES, G.P.; MAGGS, J.M. et al. The use of mean pool abundances to interpret ^{15}N tracer experiments. II. Application. **Plant and Soil**, v.131, p.97-105, 1991.
- GILL, K.; JARVIS, S.C.; HATCH, D.J. Mineralization of nitrogen in long-term pasture soils: effects of management. **Plant and Soil**, v.172, p.153-162, 1995.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 11. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 430p.
- GOMES, S. T. **A economia do leite**. Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1996. 104p.
- GOMIDE, J.A. Aspectos biológicos e econômicos da adubação das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, Jaboticabal, 1989. **Anais**. Jaboticabal: FCAJ/UNESP, 1989. p.237-270.
- GOMIDE, J.A. Formação e utilização de capineiras de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. et al. (Ed.) **Capim-elefante: produção e utilização**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1997a. p.79-112.
- GOMIDE, J.A. Morfogênese e análise de crescimento de gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, Viçosa, 1997. **Anais**. Viçosa: UFV, 1997b. p.411-429.

- HARGROVE, W.L. Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E. (Ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Muscle Shoals: Tennessee Valley Authority, 1988. p.17-36. (Bulletin Y-206).
- HARGROVE, W.L.; KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of urea in the field and laboratory. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, p.359-363, 1979.
- HARGROVE, W.L.; KISSEL, D.E.; FENN, L.B. Field measurements of ammonia volatilization from surface-applications of ammonium salts to a calcareous soil. **Agronomy Journal**, v.69, p.473-476, 1977.
- HARGROVE, W.L.; BOCK, B.R.; RAUNIKAR, R.A. et al. Comparison of a forced-draft technique to nitrogen-15 recovery for measuring ammonia volatilization under field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.124-128, 1987.
- HARPER, L.A.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: Soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, v.87, p.669-675, 1995.
- HARPER, L.A.; CATCHPOOLE, V.R.; VALLIS, I. Ammonia loss from fertilizer applied to tropical pastures. In: FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R. (Ed.) **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems**. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1983a. p.285-312.
- HARPER, L.A.; CATCHPOOLE, V.R.; DAVIS, R. et al. Ammonia volatilization: soil, plant and microclimate effects on diurnal and seasonal fluctuations. **Agronomy Journal**, v.75, p.212-218, 1983b.
- HARRIS, W. Defoliation as a determinant of the growth, persistence and composition of pasture. In: WILSON, J.R. (Ed.) **Plant relations in pasture**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.67-85.
- HASSINK, J. Effect of grassland management on N mineralization potential, microbial biomass and N yield in the following year. **Netherlands Journal of Agriculture Science**, v.40, p.173-185, 1992.

- HATCH, D.J.; JARVIS, S.C.; PHILIPPS, L. Field measurement of nitrogen mineralization using soil core incubation and acetylene inhibition of nitrification. **Plant and Soil**, v.124, p.97-107, 1990.
- HATCH, D.J.; JARVIS, S.C.; REYNOLDS, S.E. An assessment of the contribution of net mineralization to N cycling in grass swards using a field incubation method. **Plant and Soil**, v.138, p.23-32, 1991.
- HAUCK, R.D. Nitrogen – isotope ratio analysis. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.) **Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: ASA/SSSA, 1992. p.715-779.
- HAYNES, R.J.; SHERLOCK, R.R. Gaseous losses of nitrogen. In: HAYNES, R.J. (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. London: Academic Press, 1986. p.242-302.
- HILLESHEIM, A. Fatores que afetam o consumo e perdas de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) sob pastejo. Piracicaba, 1987. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. New York: Longman Handbooks in Agriculture, 1990. 203p.
- HOLTAN-HARTWIG, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Science**, suppl. 14, 1994. 41p.
- HUMPHREYS, L.R. **Tropical pasture utilisation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 206p.
- HUTCHINSON, G.L.; MILLINGTON, R.J.; PETERS, D.B. Atmospheric ammonia: absorption by plant leaves. **Science**, v.175, p.771-772, 1972.
- IMHOFF, S.C. Heterogeneidade espacial de atributos do solo em áreas sob manejo rotacionado de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). Piracicaba, 1998. 55p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- IMPITHUKSA, V.; BLUE, W.G.; GRAETZ, D.A. Distribution of applied nitrogen in soil-pensacola bahiagrass components as indicated by nitrogen-15. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.1280-1284, 1984.
- IMPITHUKSA, V.; BLUE, W.G. Fertilizer nitrogen and nitrogen-15 in three warm-season grasses grown on a Florida Spodosol. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.1201-1204, 1985.
- JACQUES, A.V.A. Caracteres morfológicos e suas implicações no manejo. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. et al. (Ed.) **Capim-elefante: produção e utilização**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1997. p.31-46.
- JANSSON, S.L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, S.J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1982. p.229-252. (Agronomy monograph no.22).
- JARVIS, S.C. The pollution potential and flows of nitrogen to waters and the atmosphere from grassland under grazing. In: APDEWI, I.; AXFORD, R.F.R.; MARAY, I.F.M. et al. (Ed.) **Pollution in livestock production systems**. Wallingford: CAB International, 1994. p.227-239.
- JARVIS, S.C.; SCHOLEFIELD, D.; PAIN, B. Nitrogen cycling in grazing systems. In: BACON, P.E. (Ed.) **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.381-419.
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após a aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.75-80, 1989.
- KISSEL, D.E.; SMITH, S.J. Fate of fertilizer nitrate applied to coastal bermudagrass on a swelling clay soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.77-80, 1978.
- KUEHL, R.O. **Statistical principles of research design and analysis**. Belmont: Duxbury Press, 1994. 686p.
- LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E.A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.36, p.341-343, 1981.

- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH_3 volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.345-352, 1990.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; LIBERALE, A. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida na cultura do milho em plantio direto. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro. 1997. **Anais**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, n.3/4, 1999 (no prelo).
- LEDGARD, S.F.; JARVIS, S.C.; HATCH, D.J. Short-term nitrogen fluxes in grassland soils under different long-term nitrogen management regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1233-1241, 1998.
- LEMAIRE, G. The physiology of grass growth under grazing: Tissue turn-over. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO., Viçosa, 1997. **Anais**. Viçosa: UFV, 1997. p.117-144.
- LIGHTNER, J.W.; MENGEL, D.B.; RHYKERD, C.L. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizer surface applied to orchardgrass sod. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.1478-1482, 1990.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MATTIAZZO, M.E.; GLORIA, N.A. Efeito da vinhaça na acidez do solo. **Stab**, v.4, n.2, p.35-40, 1985.
- McINTOSH, M.S. Analysis of combined experiments. **Agronomy Journal**, v.75, p.153-155, 1983.
- MELLO, F.A.F. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192p.

- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. London: Academic Press, 1990. 483p.
- MONTEIRO, F.A. Adubação de estabelecimento e manutenção em capim-elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. et al. (Ed.) **Capim-elefante: produção e utilização**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1997. p.47-77.
- NUSSIO, L. G.; LIMA, L.G. de; MATTOS, W.R.S. Planejamento da produção de alimentos para o inverno. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 10., Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.57-94.
- OLIVEIRA, M.W.; Trivelin, P.C.O.; Bendassolli, J.A. et al. Volatilização de amônia e recuperação do ^{15}N da aquamônia misturada à vinhaça e da uréia aplicadas superficialmente em solo coberto por palhada de cana-de-açúcar. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, **Anais**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.
- O'TOOLE, P.; McGARRY, S.J.; MORGAN, M.A. Ammonia volatilization from urea-treated pasture an tillage soils: effects of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.36, p.613-620, 1985.
- PASSOS, L.P. Estado do conhecimento sobre a fisiologia do capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 2., Juiz de Fora, 1994. **Anais**. Juiz de Fora: EMBRAPA, 1994. p.12-56.
- PAULINO, V.T.; BEISMAN, D.A.; FERRARI JR., E. Fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* durante o período da seca. **Pasturas Tropicais**, v.17, p.20-24, 1995.
- PEARSON, C.J.; ISON, R.L. **Agronomy of grassland systems**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 222p.
- PILBEAM, C.J.; WARREN, G.P. Use of ^{15}N for fertilizer N recovery and N mineralization in semi-arid Kenya. **Fertilizer Research**, v.42, p.123-128, 1995.
- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C. Influence of urease activity and soil properties on ammonia volatilization from urea. **Soil Science**, v.143, p.418-425, 1987.

- ROBINSON, D.L. Fertilization and nutrient utilization in harvested forage systems. In: JOOST, R.E.; ROBERTS, C.A. (Ed.). **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: PPI/FAR, 1996. p.65-92.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após o emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.37-43, 1986.
- ROLIM, F.A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (Ed.) **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.533-565.
- RUSSELLE, M.P. Nitrogen cycling in pasture systems. In: JOOST, R.E.; ROBERTS, C.A. (Ed.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: PPI/FAR, 1996. p.125-166.
- RUSSELLE, M.P. Nutrient cycling in pasture ecosystems. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO., Viçosa, 1997. **Anais**. Viçosa: UFV, 1997. p.235-236.
- RUZICKA, J.; HANSEN, E.H. **Flow injection analysis**. New York: Willey Interscience. 271p.
- SÁ, J.C.M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 23p.
- SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **LUPA** (Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola). São Paulo, 1997, 4v.
- SAS Institute. **SAS/STAT user's guide, version 6**. 4. ed. CARY, 1989. v.1, 943p.
- SILVA, V.M.; TRIVELIN, P.C.O.; COLAÇO, W. et al. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-¹⁵N na presença ou não de uréia e de palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.56, n.1, 1999 (no prelo).

- SPOLIDÓRIO, E.S.; BOARETTO, A.E.; BOARETTO, R.M. et al. Perdas de N-NH₃ por volatilização da uréia aplicada no solo na cultura do trigo. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.
- STUMPE, J.M.; VLEK, P.L.G.; LINDSAY, W.L. Ammonia volatilization from urea and urea phosphates in calcareous soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.921-927, 1983.
- THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.1351-1361, 1993.
- TORELLO, W.A.; WEHNER, D.J. Urease activity in a Kentucky bluegrass turf. **Agronomy Journal**, v.75, p.654-656, 1983.
- TOTHILL, J.C. Measuring botanical composition of grasslands. In: MANNETJE, L.'t (Ed.) **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Aberystwyth: CAB International, 1987. p.22-62.
- TRIVELIN, P.C.O. **O método dos traçadores: diluição isotópica**; apostila da disciplina CEN-706: Metodologia de isótopos estáveis. Piracicaba: CENA, 1996. 9p.
- TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; BENDASSOLLI, J.A. Coletor semi-aberto estático para estimar perdas reais de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.
- TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; BOARETTO, A.E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFÓS, 1994. p.314-330.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ¹⁵N por espectrômetro de massa**. Piracicaba: CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2).

- URQUIAGA, S.; VICTORIA, R.L.; BUITRÓN, F. et al. Perdas por volatilização de ^{15}N -uréia e ^{15}N -sulfato de amônio num solo calcário da parte central da região costeira do Peru. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.607-613, 1989.
- VAN LIER, Q.J.; SPAVOREK, G.; VASQUES FILHO, J. Análise de imagens utilizando um scanner manual: aplicações em agronomia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.479-482, 1993.
- VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J. Environment and forage quality. CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 58., Rochester, 1996. **Proceedings**. Rochester: Cornell University, 1996. p.1-9.
- VICENTE-CHANDLER, J.; FIGARELLA, J. Effects of five nitrogen sources on yield and composition of Napier grass. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v.46, p.102-106, 1962.
- VICENTE-CHANDLER, J.; ABRUÑA, F.; CARO-COSTAS, R. et al. **Intensive grassland management in the humid tropics of Puerto Rico**. Rio Piedras: University of Puerto Rico, 1974. 164p. (Bulletin 233).
- VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Ilhéus, 1984. **Anais**. Ilhéus. Ilhéus: EMBRAPA, 1984. p.205-253.
- VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. **Agronomy Journal**, v.51, p.746-749, 1959.

- WEDIN, D.A. Nutrient cycling in grasslands: an ecologist's perspective. In: JOOST, R.E.; ROBERTS, C.A. (Ed.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: PPI/FAR, 1996. p.29-44.
- WERNER, J.C.; GOMES, F.P.; KALIL, E.B. et al. Fontes de nitrogênio e seus efeitos na produção forrageira. **Boletim da Indústria Animal**, v.25, p.151-159, 1968.
- WHITEHEAD, D.C. Sources and transformations of organic nitrogen in intensively managed grassland soil. In: VAN DER MEER, H.G.; RYDEN, J.C.; ENNICK, G.C. (Ed.) **Nitrogen fluxes in intensive grassland systems**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p.47-58.
- WHITEHEAD, D.C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995. 397p.
- WHITEHEAD, D.C.; DAWSON, K.P. Nitrogen, including ^{15}N -labelled fertilizer nitrogen, in components of a grass sward. **Journal of Applied Ecology**, v.21, p.983-989, 1984.
- WHITEHEAD, D.C.; LOCKYER, D.R. Decomposing grass herbage as a source of ammonia in the atmosphere. **Atmospheric Environment**, v.23, p.1867-1869, 1989.
- WHITEHEAD, D.C.; RAISTRICK, N. Ammonia volatilisation from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. **Journal of Soil Science**, v.41, p.387-394, 1990.
- WHITEHEAD, D.C.; LOCKYER, D.R.; RAISTRICK, N. The volatilisation of ammonia from perennial ryegrass during decomposition, drying and induced senescence. **Annals of Botany**, v.61, p.567-571, 1988.